Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ€ÑƒÐºÐ¾Ð²Ð¾Ð´Ñ□Ñ‚Ð²Ð¾ Ð´Ð»Ñ□ Ñ□Ð¾Ð·Ð´Ð°Ð½Ð¸Ñ□ Ð½Ð°Ð¸Ð»ÑƒÑ‡ÑˆÐ¸Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ñ… Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ð¹ ÐœÐ°Ñ€Ñ‚Ð° Ð“Ð¸Ð»Ð» Ð“Ð□Ð ÐœÐžÐ□Ð˜Ð¯ Ð¦Ð’Ð•Ð¢Ð□ Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° ÐœÐ°Ñ€Ñ‚Ð° Ð“Ð¸Ð»Ð» ÐœÐ¾Ñ□ÐºÐ²Ð° Ð□Ð¡Ð¢ â€¢ Ð□Ñ□Ñ‚Ñ€ÐµÐ»ÑŒ Ð¡Ð¾Ð´ÐµÑ€Ð¶Ð°Ð½Ð¸Ðµ Ð’Ð²ÐµÐ´ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ðž ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°Ñ… Ð¦Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ ÐºÑ€ÑƒÐ³ Ð¢Ð°Ð±Ð»Ð¸Ñ†Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÐšÐ¾Ð¼Ð±Ð¸Ð½Ð¸Ñ€Ð¾Ð²Ð°Ð½Ð¸Ðµ ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ï‚¢ Ð¢ÐµÐ¿Ð»Ð¾ (ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ñ‹Ð¹) ï‚¢ Ð”ÐµÑ€ÐµÐ²Ð½Ñ□ (ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾-Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹) ï‚¢ Ð”Ð¾Ð¼Ð°ÑˆÐ½Ð¸Ð¹ ÑƒÑŽÑ‚ (Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹) ï‚¢ Ð¨ÐµÑ€Ð¾Ñ…Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ (ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ñ‹Ð¹ + Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾-Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹) ï‚¢ Ð‘ÐµÐ·Ð¼Ñ□Ñ‚ÐµÐ¶Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ (Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ð¾-Ñ□ÐµÑ€Ñ‹Ð¹) ï‚¢ ÐŸÐ°Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ€Ð°Ð»ÑŒ (Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾-Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹) ï‚¢ ÐŸÑ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð° (Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹) ï‚¢ Ð§Ð¸Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ‚Ð° (Ñ□Ð¸Ð½Ðµ-Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹) ï‚¢ ÐŸÑ€Ð¾Ñ‡Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ (Ð³Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ð¾Ð¹) ï‚¢ Ð¡Ð¾Ð·ÐµÑ€Ñ†Ð°Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ (Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹) ï‚¢ ÐŸÐ¾ÐºÐ¾Ð¹ (ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾-Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹) ï‚¢ Ð¢ÐµÐ¼Ð½Ð¾Ñ‚Ð° (Ñ…Ð¾Ð»Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ð¹ Ñ□ÐµÑ€Ñ‹Ð¹ + Ñ…Ð¾Ð»Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ð¹ Ñ‡ÐµÑ€Ð½Ñ‹Ð¹) ï‚¢ Ð“Ð¾Ñ€Ð¾Ð´ (Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ñ‹Ð¹ Ñ□ÐµÑ€Ñ‹Ð¹) ï‚¢ Ð¡Ð´ÐµÑ€Ð¶Ð°Ð½Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ (Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ñ‹Ð¹ Ð±ÐµÐ»Ñ‹Ð¹) Ð’Ð´Ð¾Ñ…Ð½Ð¾Ð²ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð² Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ðµ Ð¢Ð°Ð±Ð»Ð¸Ñ†Ð° Ñ‚Ð¾Ð½Ð¾Ð²Ñ‹Ñ… Ð¿ÐµÑ€ÐµÑ…Ð¾Ð´Ð¾Ð² Â© Tetsuya Miura/Photonica Ð¦Ð²ÐµÑ‚ Ð¿Ð¾ Ñ□Ð²Ð¾ÐµÐ¹ Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ðµ Ñ□Ð»Ð¾Ð¶ÐµÐ½. ÐœÐ½Ð¾Ð¶ÐµÑ□Ñ‚Ð²Ð¾ Ñ‚ÐµÐ¾Ñ€Ð¸Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°, Ñ□Ð¸Ñ□Ñ‚ÐµÐ¼, ÐºÐ¾Ð½Ñ†ÐµÐ¿Ñ†Ð¸Ð¹ Ð¸ Ð¾Ð¿Ñ€ÐµÐ´ÐµÐ»ÐµÐ½Ð¸Ð¹ Ð¿Ð¾Ñ€Ð°Ð¶Ð°-ÐµÑ‚ Ð²Ð¾Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð¶ÐµÐ½Ð¸Ðµ. Ð¢Ð¾Ð»ÑŒÐºÐ¾ Ð¾Ð´Ð½Ð¾ Ð½Ð°ÑƒÑ‡- Ð½Ð¾Ðµ Ð¾Ð¿Ð¸Ñ□Ð°Ð½Ð¸Ðµ Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ñ‹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¼Ð¾Ð³Ð»Ð¾ Ð±Ñ‹ Ñ□Ð¾Ñ□Ñ‚Ð°Ð²Ð¸Ñ‚ÑŒ Ñ†ÐµÐ»Ñ‹Ðµ Ñ‚Ð¾Ð¼Ð° â€“ Ð½Ð°Ñ‡Ð¸Ð½Ð°Ñ□ Ñ□Ð¾ Ð²Ñ€ÐµÐ¼ÐµÐ½ Ð¿ÐµÑ€Ð²Ð¾Ð¹ ÐºÑ€ÑƒÐ³Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ñ□Ñ…ÐµÐ¼Ñ‹ Ð˜Ñ□Ð°Ð°ÐºÐ° Ð□ÑŒÑŽÑ‚Ð¾Ð½Ð°, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ð°Ñ□ Ð¸Ð·Ð²ÐµÑ□Ñ‚Ð½Ð° Ñ□ÐµÐ¹Ñ‡Ð°Ñ□ ÐºÐ°Ðº Â«ÐºÐ»Ð°Ñ□Ñ□Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ¸Ð¹Â» Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾- Ð²Ð¾Ð¹ ÐºÑ€ÑƒÐ³, Ð´Ð¾ Ð¸Ñ□Ð¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·Ð¾Ð²Ð°Ð½Ð¸Ñ□ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð² Ñ□Ð¾Ð²Ñ€ÐµÐ¼ÐµÐ½Ð½Ð¾Ð¹ Ð¿Ñ€Ð¾Ð¼Ñ‹ÑˆÐ»ÐµÐ½Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸, Ð² ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ð¾Ð¹ Ñ€Ð°Ð±Ð¾Ñ‚Ð°ÑŽÑ‚, Ð¿Ñ€Ð¾Ñ„ÐµÑ□Ñ□Ð¸Ð¾Ð½Ð°Ð»ÑŒ- Ð½Ñ‹Ðµ ÐºÐ¾Ð»Ð¾Ñ€Ð¸Ñ□Ñ‚Ñ‹ Ð´Ð»Ñ□ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ ÑƒÐ³Ð°- Ð´Ð°Ñ‚ÑŒ Ñ‚Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ðµ Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ñ□, Ð½Ð° ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ð±ÑƒÐ´ÐµÑ‚ Ð±Ð¾Ð»ÑŒÑˆÐ¾Ð¹ Ñ□Ð¿Ñ€Ð¾Ñ□. Ð¢Ð°ÐºÐ¸Ðµ Â«Ð¿Ñ€ÐµÐ´Ñ□ÐºÐ°Ð·Ð°Ð½Ð¸Ñ□Â» Ð¿Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ□Ð½Ð½Ð¾ Ð¼ÐµÐ½Ñ□ÑŽÑ‚Ñ□Ñ□, Ñ…Ð¾Ñ‚Ñ□ Ð½Ð°Ñ…Ð¾Ð¶Ð´ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾ Ñ□Ð°Ð¼Ð¾Ð³Ð¾ Ð¸Ñ□ÐºÐ»ÑŽÑ‡Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ð¾Ð³Ð¾, Ð¼Ð¾Ð´Ð½Ð¾- Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð² Ð»ÑŽÐ±Ð¾Ð¹ Ð¼Ð¾Ð¼ÐµÐ½Ñ‚, Ð²Ñ€ÐµÐ¼ÐµÐ½Ð¸ Ð¼Ð¾Ð¶ÐµÑ‚, Ð·Ð°Ð½Ñ□Ñ‚ÑŒ Ð²Ñ□ÑŽ Ð¶Ð¸Ð·Ð½ÑŒ Ñ‡ÐµÐ»Ð¾Ð²ÐµÐºÐ°. Ð□Ð°Ð²ÐµÑ€Ð½Ñ□ÐºÐ° Ð²Ñ‹, ÐºÐ°Ðº Ð¸ Ð±Ð¾Ð»ÑŒÑˆÐ¸Ð½Ñ□Ñ‚Ð²Ð¾ Ð»ÑŽÐ´ÐµÐ¹, Ð½Ðµ Ñ€Ð°Ð· Ð¾ÑˆÐ¸Ð±Ð°Ð»Ð¸Ñ□ÑŒ Ñ□ Ð²Ñ‹Ð±Ð¾Ñ€Ð¾Ð¼ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°, ÐœÐ¾Ð¶ÐµÑ‚, Ð±Ñ‹Ñ‚ÑŒ, Ð´Ð°Ð¶Ðµ Ð´ÐµÑ□Ñ□Ñ‚ÐºÐ¸ Ñ€Ð°Ð·. Ð”Ð»Ñ□ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾ Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ ÑƒÐ¼ÐµÑ‚ÑŒ Ð²Ñ‹Ð±Ð¸Ñ€Ð°Ñ‚ÑŒ Ð²ÐµÑ€- Ð½ÑƒÑŽ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²ÑƒÑŽ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñƒ, Ð½ÐµÐ¾Ð±Ñ…Ð¾Ð´Ð¸Ð¼Ð¾ Ð² Ð¿ÐµÑ€Ð²Ñ‹Ñƒ Ð¾Ñ‡ÐµÑ€ÐµÐ´ÑŒ Ð¿Ð¾Ð½Ñ□Ñ‚ÑŒ Ð½ÐµÑ□ÐºÐ¾Ð»ÑŒÐºÐ¾ Ð¾Ñ□Ð½Ð¾Ð²Ð½Ñ‹Ñ… Ð¿Ñ€Ð¸Ð½Ñ†Ð¸Ð¿Ð¾Ð² Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ñ□ Ñ†Ð²Ðµ- Ñ‚Ð¾Ð². Ð¦ÐµÐ»ÑŒ Ñ□Ñ‚Ð¾Ð¹ ÐºÐ½Ð¸Ð³Ð¸ â€“ Ð¾Ð±Ð»ÐµÐ³Ñ‡Ð¸Ñ‚ÑŒ Ð¸ ÑƒÐ¿Ñ€Ð¾- Ñ□Ñ‚Ð¸Ñ‚ÑŒ Ð²Ñ‹Ð±Ð¾Ñ€ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¸ Ð¿Ð¾Ð´Ð±Ð¾Ñ€ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñ‹. Ð□Ð°Ñ□Ñ‚Ð¾Ð»ÑŒÐºÐ¾ ÑƒÐ¿Ñ€Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸Ñ‚ÑŒ, Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚, Ñ□Ñ‚Ð°Ð» Ð´Ð»Ñ□ Ð²Ð°Ñ□ Ñ□Ñ€ÐµÐ´Ñ□Ñ‚Ð²Ð¾Ð¼ Ð¾Ð±Ñ‰ÐµÐ½Ð¸Ñ□ Ð¸ Ð¿Ñ€ÐµÐ´Ð°Ñ‡Ð¸ Ð½ÑƒÐ¶Ð½Ñ‹Ñ… Ð¾Ñ‰ÑƒÑ‰ÐµÐ½Ð¸Ð¹, Ð² ÐºÐ°ÐºÐ¾Ð¹ Ð±Ñ‹ Ñ□Ñ„ÐµÑ€Ðµ Ð²Ñ‹ Ð½Ð¸ Ð¿Ð¾Ð¶ÐµÐ»Ð°Ð»Ð¸ Ñ□ÐµÐ±Ñ□ Ð²Ñ‹- Ñ€Ð°Ð·Ð¸Ñ‚ÑŒ: ÐºÐ¾Ð³Ð´Ð° Ð½ÑƒÐ¶Ð½Ð¾ Ñ□ÐºÐ°Ð·Ð°Ñ‚ÑŒ Ñ‡Ñ‚Ð¾-Ñ‚Ð¾ Ð¾ Ñ□ÐµÐ±Ðµ, Ð¾ Ñ□Ð²Ð¾ÐµÐ¼ Ð´Ð¾Ð¼Ðµ, Ð¾ Ñ□Ð²Ð¾ÐµÐ¼ Ð¸Ñ□ÐºÑƒÑ□- Ñ□Ñ‚Ð²Ðµ Ð¸ Ñ□Ð²Ð¾ÐµÐ¼ Ð´Ð¸Ð·Ð°Ð¹Ð½ÐµÑ€Ñ□ÐºÐ¾Ð¼ Ð¿Ñ€Ð¾ÐµÐºÑ‚Ðµ Ð¸Ð»Ð¸ Ð¾ Ñ□Ð²Ð¾ÐµÐ¹ Ð¿Ñ€Ð¾Ð´ÑƒÐºÑ†Ð¸Ð¸. Ð’Ð¾Ñ□Ð¿Ñ€Ð¸Ð½Ð¸Ð¼Ð°Ð¹Ñ‚Ðµ Ñ□Ñ‚Ñƒ ÐºÐ½Ð¸Ð³Ñƒ ÐºÐ°Ðº Ñ€Ð°Ð±Ð¾- Ñ‡Ð¸Ð¹ Ð¸Ð½Ñ□Ñ‚Ñ€ÑƒÐ¼ÐµÐ½Ñ‚, Â«Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð¿ÐµÑ€ÐµÐºÐ»ÑŽ-Ñ‡Ð°Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÂ», Ð¿Ð¾Ñ□Ð¾Ð±Ð¸Ðµ Ð¿Ð¾ Ð²Ñ‹Ð±Ð¾Ñ€Ñƒ Ð²Ð¾Ð·Ð¼Ð¾Ð¶- Ð½Ñ‹Ñ… Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€ Ð¸ Ñ□Ð¾Ð²ÐµÑ‚Ñ‹, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ñ□Ñ‚Ð¾Ð¸Ñ‚, Ð¿Ñ€Ð¸Ð½Ñ□Ñ‚ÑŒ Ð²Ð¾ Ð²Ð½Ð¸Ð¼Ð°Ð½Ð¸Ðµ. Ð’ Ñ□Ñ‚Ð¾Ð¹ ÐºÐ½Ð¸Ð³Ðµ Ð²Ñ‹ Ð½Ð°Ð¹Ð´ÐµÑ‚Ðµ Ñ‚Ðµ Ñ□Ð°Ð¼Ñ‹Ðµ Ð¾Ñ□Ð½Ð¾Ð²Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð°Ð³Ð°ÑŽ- Ñ‰Ð¸Ðµ Ð¿Ñ€Ð¸Ð½Ñ†Ð¸Ð¿Ñ‹ Ð

´Ð¾Ñ‡Ñ‚ÑƒÐ¿Ð½Ð¾ Ð¸Ð·Ð»Ð¾Ð¶ÐµÐ½Ð½Ð¾Ð¹ Ñ‚ÐµÐ¾Ñ€Ð¸Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð², ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ ÐºÐ°Ñ□Ð°ÑŽÑ‚Ñ□Ñ□ Ñ□Ð¾- Ñ□Ñ‚Ð°Ð²Ð»ÐµÐ½Ð¸Ñ□ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ñ… ÐºÐ¾Ð¼Ð±Ð¸Ð½Ð°Ñ†Ð¸Ð¹ Ð¸Ð· ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð². Ð¡ÑŽÐ´Ð° Ð²ÐºÐ»ÑŽÑ‡Ðµ- Ð½Ñ‹ Ñ‡ÐµÑ‚Ñ‹Ñ€Ð½Ð°Ð´Ñ†Ð°Ñ‚ÑŒ Â«Ð½Ð°Ñ□Ñ‚Ñ€Ð¾ÐµÐ½Ð¸Ð¹Â» â€“ Ñ‚Ð¾- Ð½Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾Ñ□Ñ‚ÐµÐ¹, Ð¾Ñ□Ð½Ð¾Ð²Ð°Ð½Ð½Ñ‹Ñ… Ð½Ð° Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ðµ ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð², Ð´Ð»Ñ□ ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ñ… Ð¿Ð¾Ð ´Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð½Ñ‹ Ð³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ðµ Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ñ□ Ñ□ Ñ□Ð¾Ñ‚Ð½Ñ□Ð¼Ð¸ Ð´Ñ€ÑƒÐ³Ð¸Ñ… Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½- ÐºÐ¾Ð², Ð¾Ñ‚ Ð³Ñ€ÑƒÐ±Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ñ‹Ñ… Ð¸Ð»Ð¸ Ñ□Ð¾Ð·Ð´Ð°ÑŽÑ‰Ð¸Ñ… Ð¾Ñ‰ÑƒÑ‰ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð ´Ð¾Ð¼Ð°ÑˆÐ½ÐµÐ¹ Ð¾Ð±Ñ□Ñ‚Ð°Ð½Ð¾Ð²ÐºÐ¸ Ð´Ð¾ Ñ□Ð»Ð¾Ð¶Ð½Ñ‹Ñ…, Ð¼Ð½Ð¾Ð³Ð¾Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·Ð½Ñ‹Ñ… Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð² ÑƒÑ€Ð±Ð°Ð½Ð¸Ñ□Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ¾Ð³Ð¾ Ð¿ÐµÐ¹Ð·Ð°Ð¶Ð° â€“ Ð²Ñ□Ðµ Ñ□Ñ‚Ð¾ Ð¾Ñ‚Ñ€Ð°Ð¶Ð°ÐµÑ‚ Ð±Ð¾Ð³Ð°Ñ‚Ñ□Ñ‚Ð²Ð¾ Ð¸ Ñ‰ÐµÐ´Ñ€Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ Ð¿Ñ€Ð¸- Ñ€Ð¾Ð´Ñ‹. Ð’Ð²ÐµÐ´ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Â© Tulla Booth/Photonica Ð Ð°Ð·Ð½Ð¾Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·Ð¸Ðµ ÐºÐ¾Ð½Ñ†ÐµÐ¿Ñ†Ð¸Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð Ð°Ð·Ð½Ð¾Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ðµ Ñ‚ÐµÐ¾Ñ€Ð¸Ð¸ Ð¸Ñ□Ð¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·ÑƒÑŽÑ‚Ñ□Ñ□ Ñ…ÑƒÐ´Ð¾Ð¶Ð½Ð¸ÐºÐ°Ð¼Ð¸, Ñ‚Ð¸Ð¿Ð¾Ð³Ñ€Ð°Ñ„Ð°Ð¼Ð¸, ÑƒÑ‡ÐµÐ½Ñ‹Ð¼Ð¸. Ð¥ÑƒÐ´Ð¾Ð¶Ð½Ð¸ÐºÐ¸ Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÐ½Ñ□ÑŽÑ‚ Ñ‚Ñ€Ð¸ Ð¿ÐµÑ€Ð²Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° â€“ ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ñ‹Ð¹, Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ñ‹Ð¹ Ð¸ Ñ□Ð¸Ð½Ð¸Ð¹ Ð´Ð»Ñ□ Ñ□Ð¾Ð·Ð´Ð°Ð½Ð¸Ñ□ Ð²Ñ□ÐµÑ… Ð¾Ñ□Ñ‚Ð°Ð»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² (Ñ□Ñ‚Ð° ÐºÐ¾Ð½Ñ†ÐµÐ¿Ñ†Ð¸Ñ□ Ð¾Ð±Ñ□ÑƒÐ¶Ð´Ð°ÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Ð² Ð½Ð°ÑˆÐµÐ¹ ÐºÐ½Ð¸Ð³Ðµ). ÐšÑ□Ñ‚Ð°Ñ‚Ð¸, Ñ□Ñ‚Ð° ÐºÐ½Ð¸Ð³Ð° Ð½Ð°Ð¿ÐµÑ‡Ð°Ñ‚Ð°Ð½Ð° Ñ□ Ð¿Ð¾Ð¼Ð¾Ñ‰ÑŒÑŽ Ñ□Ð¿Ð¾Ñ□Ð¾Ð±Ð°, Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÐ½Ñ□Ðµ- Ð¼Ð¾Ð³Ð¾ Ð² Ð¿ÐµÑ‡Ð°Ñ‚Ð½Ð¾Ð¹ Ð¸Ð½Ð´ÑƒÑ□Ñ‚Ñ€Ð¸Ð¸, Ð¿Ñ€Ð¸ ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ð¾Ð¼ ÐºÐ¾Ð¼Ð±Ð¸Ð½Ð¸Ñ€ÑƒÑŽÑ‚ ÐºÑ€Ð¾Ñ…Ð¾Ñ‚Ð½Ñ‹Ðµ ÐºÑƒÑ□Ð¾Ñ‡ÐºÐ¸ Ð³Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ð¾Ð³Ð¾, Ð¿ÑƒÑ€Ð¿ÑƒÑ€Ð½Ð¾Ð³Ð¾, Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾ Ð¸ Ñ‡ÐµÑ€Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²: Ð² Ð½Ð°ÑˆÐ¸Ñ… Ð³Ð»Ð°Ð·Ð°Ñ… Ñ□Ñ‚Ð¸ Ñ‚Ð¾Ñ‡ÐºÐ¸ Ð¾Ð¿Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ¸ Â«Ñ□Ð¼ÐµÑˆÐ¸Ð²Ð°ÑŽÑ‚Ñ□Ñ□Â», Ñ□Ð¾Ð·Ð´Ð°ÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Ñ□Ð¿ÐµÑ†Ð¸Ñ„Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ¸Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚, Ð¸ Ð¼Ñ‹ Ð²Ð¾Ñ□Ð¿Ñ€Ð¸Ð½Ð¸- Ð¼Ð°ÐµÐ¼ Ð²Ñ□Ðµ Ð¸Ð·Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð¶ÐµÐ½Ð¸Ðµ ÐºÐ°Ðº Ñ□Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ□Ñ‰ÐµÐµ Ð¸Ð· Ð±Ð¾Ð»ÑŒÑˆÐ¾Ð¹ Ñ□Ð¾Ð²Ð¾ÐºÑƒÐ¿Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ñ… Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð², Ð£Ñ‡ÐµÐ½Ñ‹Ðµ Ð¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·ÑƒÑŽÑ‚Ñ□Ñ□ Ñ□Ð¾Ð²ÐµÑ€ÑˆÐµÐ½Ð½Ð¾ Ð¸Ð½Ñ‹Ð¼ Ñ□Ð¿Ð¾Ñ□Ð¾Ð±Ð¾Ð¼, Ð² Ð¾Ñ□Ð½Ð¾Ð²Ñƒ ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ð¾- Ð³Ð¾ Ð¿Ð¾Ð»Ð¾Ð¶ÐµÐ½ Ð´Ð½ÐµÐ²Ð½Ð¾Ð¹ Ñ□Ð²ÐµÑ‚, â€“ Ð² Ñ□Ñ‚Ð¾Ð¹ Ñ□Ð¸Ñ□Ñ‚ÐµÐ¼Ðµ Ð¿ÐµÑ€Ð²Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°Ð¼Ð¸ Ñ□Ñ‚Ð°Ð½Ð¾Ð²Ñ□Ñ‚Ñ□Ñ□ ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ñ‹Ð¹, Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹ Ð¸ Ñ□Ð¸Ð½Ð¸Ð¹. ÐŸÑ€Ð¸Ð¼ÐµÑ€Ð¾Ð¼ Ð¸Ñ□Ð¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·Ð¾Ð²Ð°Ð½Ð¸Ñ□ Ñ‚Ð°ÐºÐ¾Ð¹ ÐºÐ¾Ð½Ñ†ÐµÐ¿Ñ†Ð¸Ð¸ Ñ†Ð²Ðµ- Ñ‚Ð° Ð¼Ð¾Ð¶ÐµÑ‚ Ñ□Ð»ÑƒÐ¶Ð¸Ñ‚ Ð²Ð¾Ñ□Ð¿Ñ€Ð¾Ð¸Ð·Ð²ÐµÐ´ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð½Ð° ÐºÐ¾Ð¼Ð¿ÑŒÑŽÑ‚ÐµÑ€Ð½Ð¾Ð¼ Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ñ‚Ð¾Ñ€Ðµ Ð¸Ð»Ð¸ Ð½Ð° Ñ□ÐºÑ€Ð°Ð½Ðµ Ñ‚ÐµÐ»ÐµÐ²Ð¸Ð·Ð¾Ñ€Ð°. Ð’Ð²ÐµÐ´ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ðž ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°Ñ… Ð¢ÐµÑ€Ð¼Ð¸Ð½ Â«ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹ÐµÂ» Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¼Ð¾Ð¶ÐµÑ‚ Ð² Ð¿ÐµÑ€Ð²ÑƒÑŽ Ð¾Ñ‡ÐµÑ€ÐµÐ´ÑŒ Ð°Ñ□Ñ□Ð¾Ñ†Ð¸Ð¸Ñ€Ð¾Ð²Ð°Ñ‚ÑŒÑ□Ñ□ Ñ□ Ñ‚Ð°ÐºÐ¸Ð¼Ð¸ Ð¿Ñ€ÐµÐ´Ð¼ÐµÑ‚Ð°Ð¼Ð¸, ÐºÐ°Ðº Ð¿ÐµÐ½ÑŒÐºÐ°, Ð´Ð¶ÑƒÑ‚, Ð½ÐµÐ¾Ñ‚Ð±ÐµÐ»ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ð¹ Ñ…Ð¾Ð»Ñ□Ñ‚, Ð¸ Ñ†ÐµÐ»Ñ‹Ð¼ Ð½Ð°Ð±Ð¾Ñ€Ð¾Ð¼ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð² ÑˆÐºÑƒÑ€Ñ‹ Ð±ÑƒÐ¹Ð²Ð¾Ð»Ð°. ÐŸÐ¾Ñ□Ð¼Ð¾Ñ‚Ñ€ÐµÐ² Ð½Ð° Ñ‚Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ð½Ð°Ñ…Ð¾Ð´Ð¸Ñ‚Ñ□Ñ□ Ð·Ð° Ð¿Ñ€ÐµÐ´ÐµÐ»Ð°Ð¼Ð¸ Ñ‡ÐµÐ»Ð¾Ð²ÐµÑ‡ÐµÑ□ÐºÐ¾Ð³Ð¾ Ð¶Ð¸Ð»ÑŒÑ□, Ð¼Ñ‹ Ð¾Ð±Ð½Ð°Ñ€ÑƒÐ¶Ð¸Ð¼ Ð³Ð¾Ñ€Ð°Ð·Ð´Ð¾ Ð±Ð¾Ð»ÐµÐµ ÑˆÐ¸- Ñ€Ð¾ÐºÐ¸Ð¹ Ñ□Ð¿ÐµÐºÑ‚Ñ€ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ñ‹ â€“ Ð² Ñ□Ñ‚Ð¾ Ð¼Ð½Ð¾Ð¶ÐµÑ□Ñ‚Ð²Ð¾ Ð²Ð¾Ð¹Ð ´ÐµÑ‚ Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ð¾- Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ð°Ñ□ Ñ‚Ñ€Ð°Ð²Ñ‹ Ð¸ ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ñ‹Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ð´Ñ€ÐµÐ²ÐµÑ□Ð½Ð¾Ð¹ ÐºÐ¾Ñ€Ñ‹, Ð»Ð¸Ð¼Ð¾Ð½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°, Ñ□Ð¸Ð½Ð¸Ð¹ Ð¸ Ð³Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ð¾Ð¹ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¸ Ð½ÐµÐ±Ð°. Ð•Ñ□Ñ‚Ðµ- Ñ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° â€“ Ñ□Ñ‚Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð½Ð°ÑˆÐµÐ¹ Ð¿Ð»Ð°Ð½ÐµÑ‚Ñ‹. Ð—ÐµÐ¼Ð»Ñ□ Ð¾Ñ‚ Ð¼Ð¾Ñ€Ñ□ÐºÐ¸Ñ… Ð¿ÐµÐ¹Ð·Ð°- Ð¶ÐµÐ¹ Ð´Ð¾ Ð»Ð°Ð½Ð´ÑˆÐ°Ñ„Ñ‚Ð¾Ð² â€“ Ð²Ð¾Ñ‚ Ð²Ñ□Ðµ, Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ð²ÐºÐ ´ÑŽÑ‡Ð°ÐµÑ‚ Ð² Ñ□ÐµÐ±Ñ□ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ð° ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½- Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð², â€“ Ð½Ð°Ñ…Ð¾Ð´Ð¸Ñ‚Ñ□Ñ□ Ð²Ð¾ÐºÑ€ÑƒÐ³ Ð½Ð°Ñ□, Ð’ Ð ´ÐµÐ¹Ñ□Ñ‚Ð²Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸ Ð±Ð¾Ð»ÑŒÑˆÐ°Ñ□ Ñ‡Ð°Ñ□Ñ‚ÑŒ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ð¿Ñ€Ð¸Ñ…Ð¾Ð´Ð¸Ñ‚ Ð½Ð°Ð¼ Ð½Ð° ÑƒÐ¼ ÐºÐ°Ðº Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ð¾Ð¿Ñ€ÐµÐ

´ÐµÐ»ÐµÐ½Ð½Ð¾Ð¹ Ð¾Ð±Ð»Ð°Ñ□Ñ‚Ð¸, Ñ€ÐµÐ³Ð¸Ð¾- Ð½Ð° (Ð¸Ð»Ð¸
ÐºÐ¾Ð½ÐºÑ€ÐµÑ‚Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ñ‡Ð°Ñ□Ñ‚Ð¾
Ð²Ñ□Ñ‚Ñ€ÐµÑ‡Ð°ÑŽÑ‚Ñ□Ñ□ Ð² Ñ□Ñ‚Ð¾Ð¹ Ð¾Ð±Ð»Ð°Ñ□Ñ‚Ð¸), Ð¿Ñ€Ð¾Ð¸Ñ□Ñ…Ð¾Ð
´Ð¸Ñ‚ Ð¸Ð· Ð»Ð°Ð½Ð´ÑˆÐ°Ñ„Ñ‚Ð° Ñ□Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾ Ñ€Ðµ- Ð³Ð¸Ð¾Ð½Ð°.
Ð□Ð°Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÑ€, Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ñ‹ Ð°Ð¼ÐµÑ€Ð¸ÐºÐ°Ð½Ñ□ÐºÐ¾Ð³Ð¾
Ð®Ð³Ð¾-Ð—Ð°Ð¿Ð°Ð´Ð° Ð¿Ð¾Ð²Ñ‚Ð¾- Ñ€Ñ□ÑŽÑ‚Ñ□Ñ□ Ð¸ Ð² Ð³Ð¾Ñ€Ð¾Ð´Ð°Ñ… ÑŽÐ³Ð¾-
Ð·Ð°Ð¿Ð°Ð´Ð½Ñ‹Ñ… ÑˆÑ‚Ð°Ñ‚Ð¾Ð², Ð¸Ñ□Ð¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·ÑƒÑŽÑ‚Ñ□Ñ□ Ð²
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¼ Ð¾Ñ„Ð¾Ñ€Ð¼Ð»ÐµÐ½Ð¸Ð¸ Ð·Ð´Ð°Ð½Ð¸Ð¹, Ð² Ð¼Ð¾Ð´Ðµ Ð¸
Ð¿Ñ€Ð¾- Ð¸Ð·Ð²ÐµÐ´ÐµÐ½Ð¸Ñ□Ñ… Ð¸Ñ□ÐºÑƒÑ□Ñ□Ñ‚Ð²Ð° â€“ Ñ□Ñ‚Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
Ð¿ÑƒÑ□Ñ‚Ñ‹Ð½Ð¸, Ñ□Ñ‚ÐµÐ¿Ð¸ Ð¸ Ð½ÐµÐ±Ð°. Ð’ Ð½Ð°ÑˆÐµÐ¹ ÐºÐ½Ð¸Ð³Ðµ Ð²Ñ‹
Ð½Ð°Ð¹Ð´ÐµÑ‚Ðµ Ð¿Ñ€Ð¾Ð²Ðµ- Ñ€ÐµÐ½Ð½ÑƒÑŽ, Ð½Ð°Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ□Ñ‰ÑƒÑŽ
Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñƒ ÐµÑ□Ñ‚Ðµ- Â© Paul Mason/Photonica Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ñ□ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸ Ð¾Ñ‚ Ð¶ÐµÐ»-
Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾ Ð´Ð¾ Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ð¾Ð³Ð¾, Ð¾Ñ‚ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð²
Ð±ÑƒÐ¹Ð²Ð¾Ð»Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ ÐºÐ¾Ð¶Ð¸ Ñ□ ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ð°Ñ‚Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸
Ð·ÐµÐ¼Ð»Ð¸, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ð²Ð°Ð¼ Ñ…Ð¾Ñ€Ð¾ÑˆÐ¾ Ð·Ð½Ð°ÐºÐ¾Ð¼Ñ‹. ÐšÑ€Ð¾Ð¼Ðµ
Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ð² Ð²Ð°ÑˆÐµÐ¼ Ñ€Ð°Ñ□- Ð¿Ð¾Ñ€Ñ□Ð¶ÐµÐ½Ð¸Ð¸ Ð±ÑƒÐ
´ÐµÑ‚ ÑˆÐ¸Ñ€Ð¾ÐºÐ¸Ð¹ Ñ□Ð¿ÐµÐºÑ‚Ñ€ ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²,
Ð¸Ñ… ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ñ… Ð¼Ð¾Ð¶Ð½Ð¾ Ñ□Ð¾Ð·Ð´Ð°Ñ‚ÑŒ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñƒ
Ð¾Ñ‚ Ñ□Ñ€ÐºÐ¾- Ð³Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ñ‹Ñ… Ñ‚Ð¾Ð½Ð¾Ð² Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð°ÐºÐ²Ð°Ð¼Ð°Ñ€Ð¸Ð½Ð°,
ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ð½Ð°Ð¿Ð¾Ð¼Ð¸Ð½Ð°ÑŽÑ‚ Ð¾ Ð¿Ñ€Ð¸Ð±Ñ€ÐµÐ¶Ð½Ð¾Ð¹
Ð¼Ð¾Ñ€Ñ□ÐºÐ¾Ð¹ Ð¿Ð¾Ð»Ð¾Ñ□Ðµ, Ð´Ð¾ Ð³Ð»ÑƒÐ±Ð¾ÐºÐ¸Ñ…, Ð½Ð°- Ñ□Ñ‹Ñ
‰ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ‚Ð¾Ð½Ð¾Ð² Ð¸Ð½Ð´Ð¸Ð³Ð¾, Ð±ÐµÑ€ÑƒÑ‰Ð¸Ñ… Ñ□Ð²Ð¾Ðµ Ð½Ð°Ñ‡Ð°Ð»Ð¾
Ð² Ð½Ð¾Ñ‡Ð½Ð¾Ð¼ Ð½ÐµÐ±Ðµ. ÐŸÐ°Ð»Ð¸- Ñ‚Ñ€Ð° ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ…
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð¸Ð·ÑƒÐ¼Ð¸- Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ð°: Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒÑŽ Ð¾Ñ…
Ð²Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‚ÑŒ Ð²ÐµÑ□ÑŒ Ñ□Ð¿ÐµÐºÑ‚Ñ€ Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð½Ð¾Ð¹ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñ‹,
Ð¿Ñ€Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¾ Ð¾Ð³Ð»Ñ□Ð´Ð¸Ñ‚ÐµÑ□ÑŒ Ð²Ð¾ÐºÑ€ÑƒÐ³ Ñ□ÐµÐ±Ñ□, Ð¸ Ð²Ñ‹ ÑƒÐ²Ð¸Ð
´Ð¸Ñ‚Ðµ, ÐºÐ°ÐºÐ¾Ð¹ Ð±Ð¾Ð³Ð°Ñ‚Ñ‹Ð¹, Ñ‡Ñ€ÐºÐ¸Ð¹, Ð½Ð°Ñ□Ñ‹Ñ‰ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ð¹
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð¼ Ð¼Ð¸Ñ€ Ð¾ÐºÑ€ÑƒÐ¶Ð°ÐµÑ‚ Ð½Ð°Ñ□. Â© Seishi Takamiya/Photonica
Ðž Ñ□Ð¾ÐºÑ€Ð¾Ð²Ð¸Ñ‰Ð°Ñ… Ð¦Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ ÐºÑ€ÑƒÐ³ Ð”Ð²ÐµÐ½Ð°Ð´Ñ†Ð°Ñ‚ÑŒ
ÑƒÑ‡Ð°Ñ□Ñ‚ÐºÐ¾Ð² Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾- Ð³Ð¾ ÐºÑ€ÑƒÐ³Ð° Ð¾Ñ‚Ð½Ð¾Ñ□Ñ□Ñ‚Ñ□Ñ□ Ðº
Ð¿ÐµÑ€Ð²Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ð¼, Ð²Ñ‚Ð¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ð¼ Ð¸ Ñ‚Ñ€ÐµÑ‚Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ð¼
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°Ð¼, Ðº Ð¸Ñ… Ð¾Ñ□Ð¾Ð±ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ð¼ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ°Ð¼ Ð¸ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼.
Ð¦Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ ÐºÑ€ÑƒÐ³ Ñ□ ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ñ‹Ð¼ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð¼ Ð½Ð°Ð²ÐµÑ€Ñ…Ñƒ
Ð¿Ñ€ÐµÐ´Ñ□Ñ‚Ð°Ð²Ð»Ñ□ÑŽÑ‚ Ð¿ÐµÑ€Ð²Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°: ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ñ‹Ð¹,
Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ñ‹Ð¹, Ñ□Ð¸Ð½Ð¸Ð¹. ÐÑ‚Ð¸ Ñ‚Ñ€Ð¸ Ð¿ÐµÑ€Ð²Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·Ñƒ- ÑŽÑ‚ Ñ€Ð°Ð²Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ€Ð¾Ð½Ð½Ð¸Ð¹ Ñ‚Ñ€ÐµÑƒÐ³Ð¾Ð»ÑŒÐ½Ð¸Ðº
ÐºÐ½ÑƒÑ‚Ñ€Ð¸ ÐºÑ€ÑƒÐ³Ð°. Ð¢Ñ€Ð¸ Ð²Ñ‚Ð¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° â€“
Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹, Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹ Ð¸ Ð·ÐµÐ»Ðµ- Ð½Ñ‹Ð¹ â€“
Ñ€Ð°Ñ□Ð¿Ð¾Ð»Ð¾Ð¶ÐµÐ½Ñ‹ Ð¼ÐµÐ¶Ð´Ñƒ Ð¿ÐµÑ€Ð²Ð¸Ñ‡- Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°Ð¼Ð¸
Ð¸ Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·ÑƒÑŽÑ‚ Ð´Ñ€ÑƒÐ³Ð¾Ð¹ Ñ‚Ñ€ÐµÑƒÐ³Ð¾Ð»ÑŒÐ½Ð¸Ðº. ÐšÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾-
Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹, Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾-Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹, Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾-
Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹, Ñ□Ð¸Ð½Ðµ-Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹, Ñ□Ð¸Ð½Ðµ-Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹ Ð¸
ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾-Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹ â€“ Ñ□Ñ‚Ð¾ ÑˆÐµÑ□Ñ‚ÑŒ
Ñ‚Ñ€ÐµÑ‚Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð². Ð Ð°Ñ□Ð¿Ð¾Ð»Ð¾Ð¶ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð²
ÑƒÐ¿Ð¾Ñ€Ñ□Ð´Ð¾- Ñ‡ÐµÐ½Ð½Ð¾Ð¹ Ð¿Ð¾Ñ□Ð»ÐµÐ´Ð¾Ð²Ð°Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸ Ð²
Ñ†Ð²Ðµ- Ñ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¼ ÐºÑ€ÑƒÐ³Ðµ Ð¿Ð¾Ð·Ð²Ð¾Ð»Ñ□ÐµÑ‚ Ñ‡ÐµÐ»Ð¾Ð²ÐµÐºÑƒ ÑƒÐ²Ð¸Ð
´ÐµÑ‚ÑŒ Ð³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸ÑŽ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾- Ð²Ð¾Ð¹ Ð±Ð°Ð»Ð°Ð½Ñ□.
Ñ‚Ñ€ÐµÑ‚Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð²Ñ‚Ð¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¿ÐµÑ€Ð²Ð¸
Ñ‡Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¦Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹
ÐºÑ€ÑƒÐ³ Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¢Ð°Ð±Ð»Ð¸Ñ†Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²
(ÐšÐ¾Ð¼Ð±Ð¸Ð½Ð¸Ñ€Ð¾Ð²Ð°Ð½Ð¸Ðµ) ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²
Ð²Ð°Ð¶Ð½Ð¾ Ð¿Ð¾Ð½Ð¸Ð¼Ð°Ð½Ð¸Ðµ Ð²Ñ□ÐµÐ³Ð¾ Ð»Ð¸ÑˆÑŒ Ð½Ðµ- Ñ□ÐºÐ¾Ð»ÑŒÐºÐ¸Ñ…
Ð¾Ñ□Ð½Ð¾Ð²Ð½Ñ‹Ñ… Ð¿Ñ€Ð¸Ð½Ñ†Ð¸Ð¿Ð¾Ð² Ñ†Ð²Ðµ- Ñ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ñ…
Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ð¹, Ð¸Ð¼ÐµÐ½Ð½Ð¾ Ñ□Ñ‚Ð¾ Ð±ÑƒÐ´ÐµÑ‚ Ð¿ÐµÑ€Ð²Ñ‹Ð¼
ÑˆÐ°Ð³Ð¾Ð¼ Ðº Ð´Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸Ð¶ÐµÐ½Ð¸ÑŽ Ð¿Ð¾Ð»Ð¾- Ð¶Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ…
Ñ€ÐµÐ·ÑƒÐ»ÑŒÑ‚Ð°Ñ‚Ð¾Ð². ÐžÐ±Ñ€Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‚Ðµ Ð²Ð½Ð¸Ð¼Ð°Ð½Ð¸Ðµ Ð½Ð°
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ ÐºÑ€ÑƒÐ³: Ñ‚Ñ€Ð°Ð´Ð¸Ñ†Ð¸Ð¾Ð½Ð½Ð¾ Ð¾Ð½ Ñ€Ð°Ð·Ð´ÐµÐ»ÐµÐ½
Ð½Ð° Ð´Ð²Ðµ Ñ‡Ð°Ñ□Ñ‚Ð¸ â€“ Ð¾Ð±Ð»Ð°Ñ□Ñ‚ÑŒ Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ñ‹Ñ… Ð¸ Ñ…Ð¾- Ð»Ð¾Ð

´Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð². ÐžÐ±Ð»Ð°Ñ□Ñ‚Ð¸ Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð½Ð°
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¼ ÐºÑ€ÑƒÐ³Ðµ, Ð²ÐºÐ»ÑŽ- Ñ‡Ð°ÑŽÑ‰ÐµÐ¹ ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ñ‹Ðµ,
Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ðµ Ð¸ Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ñ‹Ðµ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°, Ð¿Ñ€Ð¸Ð¿Ð¸Ñ□Ñ‹Ð²Ð°ÐµÑ‚Ñ□Ñ□
ÐºÐ°Ñ‡Ðµ- Ñ□Ñ‚Ð²Ð¾ Ð°ÐºÑ‚Ð¸Ð²Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸, Ñ□Ñ‡Ð¸Ñ‚Ð°ÐµÑ‚Ñ□Ñ□, Ñ‡Ñ‚Ð¾
Ð¾Ð½Ð¸ Ð´Ð¾Ñ□Ñ‚Ð°Ð²Ð»Ñ□ÑŽÑ‚ ÑƒÐ´Ð¾Ð²Ð¾Ð»ÑŒÑ□Ñ‚Ð²Ð¸Ðµ. ÐžÐ±Ð»Ð°Ñ□Ñ‚ÑŒ Ñ…
Ð¾Ð»Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ñ€Ð°Ñ□Ð¿Ñ€Ð¾Ñ□Ñ‚Ñ€Ð°Ð½Ñ□ÐµÑ‚- Ñ□Ñ□ Ð½Ð°
Ð¿Ñ€Ð¾Ð¼ÐµÐ¶ÑƒÑ‚Ð¾Ðº Ð¾Ñ‚ Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ð¾Ð³Ð¾ Ð´Ð¾ Ñ□Ð°Ð¼Ñ‹Ñ… Ñ…Ð¾Ð»Ð¾Ð
´Ð½Ñ‹Ñ… Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð² Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾- Ð²Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¸
Ñ□Ñ‡Ð¸Ñ‚Ð°ÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Ð¿Ð°Ñ□Ñ□Ð¸Ð²Ð½Ð¾Ð¹ Ð¸ ÑƒÑ□Ð¿Ð¾ÐºÐ°Ð¸Ð²Ð°ÑŽÑ‰ÐµÐ¹.
ÐšÐ°Ð¶Ð´Ð°Ñ□ Ð¾Ð±Ð»Ð°Ñ□Ñ‚ÑŒ Ñ…Ð°Ñ€Ð°ÐºÑ‚ÐµÑ€Ð¸Ð·ÑƒÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Ñ□Ð²Ð¾Ð¸Ð¼
Ð½Ð°Ð±Ð¾Ñ€Ð¾Ð¼ Ñ□Ð¼Ð¾Ñ†Ð¸Ð¹, Ð¿Ñ€Ð¸Ñ□ÑƒÑ‰ÐµÐ¹ Ñ‚Ð¾Ð»ÑŒÐºÐ¾ ÐµÐ¹. ÐŸÐµÑ€-
Ð²Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð² Ð¶Ð¸Ð²Ð¾Ð¿Ð¸Ñ□Ð¸ â€“ Ñ□Ñ‚Ð¾ Ñ‚Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°,
Ð¸Ð· ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ñ… Ð¼Ð¾Ð¶Ð½Ð¾ Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·Ð¾- Ð²Ð°Ñ‚ÑŒ Ð»ÑŽÐ±Ð¾Ð¹ Ð
´Ñ€ÑƒÐ³Ð¾Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚. Ð’Ñ‚Ð¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·ÑƒÑŽÑ‚Ñ□Ñ□,
ÐºÐ¾Ð³Ð´Ð° Ñ□Ð¼ÐµÑˆÐ¸Ð²Ð°- ÑŽÑ‚Ñ□Ñ□ Ð´Ð²Ð° Ð¿ÐµÑ€Ð²Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°.
Ð□Ð°ÐºÐ¾- Ð½ÐµÑ†, Ðº Ñ‚Ñ€ÐµÑ‚Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ð¼ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°Ð¼ Ð¾Ñ‚Ð½Ð¾Ñ□Ñ□Ñ‚, Ñ‚Ðµ,
ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·ÑƒÑŽÑ‚Ñ□Ñ□ Ð² Ñ€ÐµÐ·ÑƒÐ»ÑŒÑ‚Ð°Ñ‚Ðµ
Ñ□Ð¼ÐµÑˆÐµÐ½Ð¸Ñ□ Ð¿ÐµÑ€Ð²Ð¸Ñ‡Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ð¸ Ð²Ñ‚Ð¾Ñ€Ð¸Ñ‡- Ð½Ð¾Ð³Ð¾
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð². ÐŸÐ¾Ð½Ñ□Ð², ÐºÐ°Ðº ÑƒÑ□Ñ‚Ñ€Ð¾ÐµÐ½ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹
ÐºÑ€ÑƒÐ³, Ð²Ñ‹ Ð¼Ð¾Ð¶ÐµÑ‚Ðµ Ð½Ð°Ñ‡Ð¸- Ð½Ð°Ñ‚ÑŒ Ñ□Ð¼ÐµÑˆÐ¸Ð²Ð°Ñ‚ÑŒ
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ð¿Ð¾ Ñ□Ð²Ð¾ÐµÐ¼Ñƒ Ð¿Ð¿Ñ€Ð¾Ð¸Ñ□Ñ…Ð¾Ð¶Ð´ÐµÐ½Ð¸ÑŽ
Ñ□Ð²Ð»Ñ□ÑŽÑ‚Ñ□Ñ□ ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°Ð¼Ð¸, Ð¸Ñ□Ð¿Ð¾Ð»ÑŒ-
Ð¦Ð²ÐµÑ‚, â€“ Ñ□Ñ‚Ð¾ Ñ□Ð½ÐµÑ€Ð³Ð¸Ñ□, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€ÑƒÑŽ Ñ□Ð¾Ð·- Ð
´Ð°ÐµÑ‚, Ð¶Ð¸Ð·Ð½ÑŒ Ð¸ ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ð°Ñ□ Ð´Ð°ÐµÑ‚, Ñ□Ð²ÐµÑ‚. Ð□ÐµÑƒÐ
´Ð¸Ð²Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚, â€“ Ñ□Ñ‚Ð¾ Ð² Ñ‚Ð¾Ð¼ Ñ‡Ð¸Ñ□Ð»Ðµ
Ð¾Ñ‚Ñ€Ð°Ð¶ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ñ□Ð¼Ð¾Ñ†Ð¸Ð¹. Ð□Ðµ Ð²Ð°Ð¶- Ð½Ð¾, Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°ÑŽÑ‚Ñ□Ñ□
Ð»Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð½Ð¾Ð¹ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñ‹ Ñ□ Ð´Ñ€ÑƒÐ³Ð¸Ð¼Ð¸
ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°Ð¼Ð¸ Ð¸Ð»Ð¸ Ð¿Ð°Ñ□Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ð¼Ð¸,
Ñ□ Ñ□Ñ€- ÐºÐ¸Ð¼Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°Ð¼Ð¸, Ñ□ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°Ð¼Ð¸ Ð³Ñ€ÑƒÐ¿Ð¿Ñ‹
Ð¼ÐµÑ‚Ð°Ð»Ð»Ð¸Ðº Ð¸Ð»Ð¸ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ°Ð¼Ð¸ Ð´ÐµÑ€ÐµÐ²Ð°, â€“ Â© Takeshi
Odawara/Photonica Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð·ÑƒÑ□ Ð¾Ð´Ð¸Ð½
Ð¸Ð»Ð¸ Ð½ÐµÑ□ÐºÐ¾Ð»ÑŒÐºÐ¾ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð² Ð´Ð»Ñ□ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹
Ñ□Ð¾Ð·Ð´Ð°Ð²Ð°Ñ‚ÑŒ ÑƒÐ´Ð°Ñ‡Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ðµ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñ‹ Ð²
Ñ€Ð°Ð¼ÐºÐ°Ñ… Ñ‰ÐºÐ°Ð» Ð¾Ñ□Ð½Ð¾Ð²Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð². ÐœÐ¾Ð½Ð¾Ñ…
Ñ€Ð¾Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ°Ñ□ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð°Ñ□ Ñ□Ñ…Ðµ- Ð¼Ð° â€“ Ð¾Ð´Ð½Ð° Ð¸Ð·
Ð¿Ñ€Ð¾Ñ□Ñ‚ÐµÐ¹ÑˆÐ¸Ñ…, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ð°Ñ□ Ð¿Ð¾Ð»ÑƒÑ‡Ð°ÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Ð²
Ñ€ÐµÐ·ÑƒÐ»ÑŒÑ‚Ð°Ñ‚Ðµ Ð¸Ñ□Ð¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·Ð¾- Ð²Ð°Ð½Ð¸Ñ□ Ð¾Ð´Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
Ð¸ ÐµÐ³Ð¾ Ñ‚Ð¾Ð½Ð¾Ð² Ð¸ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð². Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ…Ð¾- Ñ€Ð¾ÑˆÐ¾ Ñ□Ð¼Ð¾Ñ‚Ñ€Ñ□Ñ‚Ñ□Ñ□ Ð² Ñ€Ð°Ð¼ÐºÐ°Ñ… Ð¼Ð¾Ð½Ð¾Ñ…
Ñ€Ð¾- Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ¾Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ñ□Ñ…ÐµÐ¼Ñ‹: Ð¾Ð½Ð¸
Ð³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹ Ð¸ Ð·Ð°Ð¼ÐµÑ‡Ð°Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ð¾ Ð¿ÐµÑ€Ðµ- Ð
´Ð°ÑŽÑ‚, Ð¿Ð»Ð°Ð²Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ Ð¿ÐµÑ€ÐµÑ…Ð¾Ð´Ð¾Ð² Ð¾Ñ‚, Ð¾Ð´Ð½Ð¾- Ð³Ð¾
Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ° Ðº Ð´Ñ€ÑƒÐ³Ð¾Ð¼Ñƒ. ÐŸÑ€ÐµÐ´Ñ□Ñ‚Ð°Ð²ÑŒÑ‚Ðµ Ñ□ÐµÐ±Ðµ
ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ð¾-Ð·Ð¾Ð»Ð¾Ñ‚Ñ‹Ðµ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¸ ÐºÐ°Ð¶Ð´Ð¾Ð¹
Ð¿ÐµÑ□Ñ‡Ð¸Ð½ÐºÐ¸ Ð½Ð° Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ð¾Ð¼ Ð»ÐµÑ‚- Ð½ÐµÐ¼ Ð¿Ð»Ñ□Ð¶Ðµ Ð¸Ð»Ð¸
Ð±ÐµÑ□ÐºÐ¾Ð½ÐµÑ‡Ð½Ð¾Ðµ Ñ‡Ð¸Ñ□Ð»Ð¾ Ñ□Ð¾Ð»Ð½ÐµÑ‡Ð½Ð¾-Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ñ‹Ñ…
Ñ‚Ð¾Ð½Ð¾Ð², ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ð²Ð°Ñ€ÑŒÐ¸Ñ€ÑƒÑŽÑ‚Ñ□Ñ□ Ð¾Ñ‚ Ñ□Ð°Ð¼Ñ‹Ñ…
Ñ□Ð²ÐµÑ‚Ð»Ñ‹Ñ… ÐºÑ€Ðµ- Ð¼Ð¾Ð²Ñ‹Ñ… Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð² Ð´Ð¾ Ð½Ð°Ñ□Ñ‹Ñ
‰ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ…, Ð³Ð»ÑƒÐ±Ð¾ÐºÐ¸Ñ… Ð¾Ñ…Ñ€Ñ□Ð½Ñ‹Ñ… Ñ‚Ð¾Ð½Ð¾Ð² Ð¿Ð»Ð°Ñ□Ñ‚Ð¸Ñ‡-
Ð½Ð¾Ð¹ Ñ…Ñ€Ð¾Ð¼Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ ÐºÐ¾Ð¶Ð¸. Ð”Ñ€ÑƒÐ³Ð¾Ð¹ ÑƒÐ´Ð°Ñ‡Ð½Ñ‹Ð¹
Ð²Ð°Ñ€Ð¸Ð°Ð½Ñ‚, Ð³Ð´Ðµ Ð¼Ð¾Ð³ÑƒÑ‚, Ð±Ñ‹Ñ‚ÑŒ Ð¸Ñ□Ð¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·Ð¾Ð²Ð°Ð½Ñ‹
ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ ÐºÑ€Ð°Ñ□ÐºÐ¸, Ð·Ð°ÐºÐ»ÑŽÑ‡Ð°ÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Ð² Ñ‚Ð¾Ð¼,
Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ ÐºÐ¾Ð¼Ð±Ð¸Ð½Ð¸Ñ€Ð¾Ð²Ð°Ñ‚ÑŒ Ð»ÑŽÐ±Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°, Ñ€Ð°Ñ□-
Ð¿Ð¾Ð»Ð¾Ð¶ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ€Ñ□Ð´Ð¾Ð¼ Ð½Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¼ ÐºÑ€ÑƒÐ³Ðµ.
Ð□Ð°Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÑ€, Ð¼Ð¾Ð¶Ð½Ð¾ Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ñ‚ÑŒ Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ñ‹Ð¹, Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾-
Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹ Ñ□Ð¾ Ð²Ñ□ÐµÐ¼Ð¸ Ð¸Ñ… Ð²Ð¾Ð·Ð¼Ð¾Ð¶Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸
Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ°Ð¼Ð¸ Ð¸ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸ â€“ Â© Yukari Ochiai/Photonica
ÐšÐ¾Ð¼Ð±Ð¸Ð½Ð¸Ñ€Ð¾Ð²Ð°Ð½Ð¸Ðµ ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð²
Ñ□Ñ‚Ð¾Ð¼ Ñ□Ð»ÑƒÑ‡Ð°Ðµ Ð²Ñ‹ Ð½ÐµÐ¸Ð·Ð±ÐµÐ¶Ð½Ð¾ Ð¿Ð¾Ð»Ñƒ- Ñ‡Ð¸Ñ‚Ðµ

Ð¿Ð»Ð°Ð²Ð½Ñ‹Ðµ Ð¿Ñ€ÐµÑ…Ð¾Ð´Ñ‹ ÐµÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½- Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°,
ÐºÐ°Ðº Ð½Ð°Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÑ€, Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¸ Ñ‚Ð¾Ð»ÑŒÐºÐ¾ Ñ‡Ñ‚Ð¾
Ð¿Ð¾ÑÐ²Ð¸Ð²ÑˆÐ¸Ñ…ÑÑ Ð²ÐµÑÐµÐ½Ð½Ð¸Ñ… Ð»Ð¸ÑÑ‚Ð¾Ñ‡ÐºÐ¾Ð²,
ÐºÐ¾Ð»ÐµÐ±Ð»ÐµÐ¼Ñ‹Ñ… Ð»ÐµÐ³ÐºÐ¸Ð¼ Ð´ÑƒÐ½Ð¾- Ð²ÐµÐ½Ð¸ÐµÐ¼ Ð²ÐµÑ‚ÐµÑ€ÐºÐ°
Ð² ÑÐ¾Ð»Ð½ÐµÑ‡Ð½Ñ‹Ð¹ Ð´ÐµÐ½ÑŒ Ð¸ ÐºÐ°Ð¶Ð´Ñ‹Ð¹ Ð¼Ð¸Ð³ Ð¿Ð¾-Ð½Ð¾Ð²Ð¾Ð¼Ñƒ
Ð¾ÑÐ²ÐµÑ‰ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ…. Ð¡Ð¼ÐµÑˆÐ°Ð¹Ñ‚Ðµ Ð¾Ð´Ð½Ñƒ ÐºÑ€Ð°ÑÐºÑƒ Ñ
ÐºÑ€Ð°ÑÐºÐ¾Ð¹, Ð¿Ñ€Ð¾Ñ‚Ð¸Ð²Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð¾Ð¶Ð½Ð¾Ð¹ ÐµÐ¹ Ð½Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¼
ÐºÑ€ÑƒÐ³Ðµ, Ð´Ð»Ñ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾ Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ Ð¿Ð¾Ð»ÑƒÑ‡Ð¸Ñ‚ÑŒ Ð¾ÑÐ½Ð¾- Ð²Ñƒ Ð
´Ð»Ñ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ ÑÑ…ÐµÐ¼Ñ‹, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ð°Ñ Ð½Ð°- Ð·Ñ‹Ð²Ð°ÐµÑ‚ÑÑ
Â«Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ð¾Ð¹Â». Ð’Ð¾Ð·ÑŒ- Ð¼Ð¸Ñ‚Ðµ
Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ð½ÐµÐ¿Ð¾ÑÑ€ÐµÐ´ÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ð¾ ÑÐ¿Ñ€Ð°Ð²Ð° Ð¸Ð»Ð¸ ÑÐ»ÐµÐ²Ð°
Ð½Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¼ ÐºÑ€ÑƒÐ³Ðµ Ð¾Ñ‚ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ð¹ Ñƒ Ð²Ð°Ñ
Ñ‚Ð¾Ð»ÑŒÐºÐ¾ Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ð¿Ð¾Ð»ÑƒÑ‡Ð¸Ð»- ÑÑ, Ð´Ð»Ñ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹
Ð¿Ð¾Ð»ÑƒÑ‡Ð¸Ñ‚ÑŒ Ð±Ð¾Ð»ÐµÐµ ÑÐ»Ð¾Ð¶Ð½Ñ‹Ð¹ Ð¸ Ð¸Ð½Ñ‚ÐµÑ€ÐµÑÐ½Ñ‹Ð¹
Ñ†Ð²ÐµÑ‚, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾- Ñ€Ñ‹Ð¹ Ð±ÑƒÐ´ÐµÑ‚ ÑƒÐ¶Ðµ Ð½Ð°Ð·Ñ‹Ð²Ð°Ñ‚ÑŒÑÑ
Ñ‚Ñ€ÐµÑ‚Ð¸Ñ‡- Ð½Ð¾Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ ÑÑ…ÐµÐ¼Ð¾Ð¹. Ð§Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ Ð¿Ñ€ÐµÐ´-
ÑÑ‚Ð°Ð²Ð¸Ñ‚ÑŒ Ð² Ð²Ð¾Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð¶ÐµÐ½Ð¸Ð¸ ÑÑ‚Ñƒ ÑÑ…ÐµÐ¼Ñƒ,
Ð²ÑÐ¿Ð¾Ð¼Ð½Ð¸Ñ‚Ðµ Ð¿Ð¾Ð»Ðµ, ÑƒÑÐµÑÐ½Ð½Ð¾Ðµ Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ñ‹Ð¼Ð¸
Ð»ÑŽÑ‚Ð¸ÐºÐ°Ð¼Ð¸, Ð½Ð°Ð´ ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ð¼Ð¸ Ð½Ð°Ñ…Ð¾Ð´Ð¸Ñ‚ÑÑ ÑÐ¸Ð½Ðµ-
Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ðµ Ð½ÐµÐ±Ð¾ Ð¸Ð»Ð¸ Ñ‚ÐµÐ¼Ð½Ð¾- Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ðµ Ñ…
Ð¾Ð»Ð¼Ñ‹ Ñ€ÑÐ´Ð¾Ð¼, Ð² ÑÐ²Ð¾ÑŽ Ð¾Ñ‡ÐµÑ€ÐµÐ´ÑŒ ÑÑ„Ñ„ÐµÐºÑ‚Ð½Ð¾
Ð¿Ñ€Ð¾Ñ‚Ð¸Ð²Ð¾Ð¿Ð¾ÑÑ‚Ð°Ð²Ð»ÐµÐ½- Ð½Ñ‹Ðµ ÐºÑ€Ð°ÑÐ½Ð¾-
Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ð¾Ð¼Ñƒ Ð·Ð°ÐºÐ°Ñ‚Ñƒ Ñ Ð»Ð¸Ð»Ð¾Ð²Ñ‹Ð¼Ð¸ Ð¾Ð±Ð»Ð°ÐºÐ°Ð¼Ð¸.
ÐžÑ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¸ ÐºÑ€ÐµÐ¼Ð¾Ð²Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°, Ð¼ÐµÐ´Ð¾Ð²Ð¾-
ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ñ‹Ðµ Ñ‚Ð¾Ð½Ð° Ð¸ Ð½Ðµ Ñ‡Ð¸ÑÑ‚Ð¾ Ð±ÐµÐ»Ñ‹Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚,
ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ñ‚Ð°Ðº Ñ‡Ð°ÑÑ‚Ð¾ Ð°ÑÑÐ¾Ñ‡Ð¸Ð¸Ñ‚ÑƒÑŽÑ‚- ÑÑ Ñ
Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ð¾Ð¹ ÐµÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð², ÑÐ¾Ð·Ð
´Ð°ÑŽÑ‚ Ð¾Ñ‚Ð»Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ð¹ ÐºÐ¾Ð½Ñ‚Ñ€Ð°ÑÑ‚, Ñ„Ð¾Ð½ Ð´Ð»Ñ
ÑÐºÑÐ¿ÐµÑ€Ð¸Ð¼ÐµÐ½Ñ‚Ð° Ñ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð¼. ÐÑ‚Ð¸ Ð¾ÑÐ½Ð¾Ð²- Ð½Ñ‹Ðµ
ÐµÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¸ Â«ÑƒÐ¿Ð¾- ÐºÐ°Ð¸Ð²Ð°ÑŽÑ‚Â»,
Ñ€Ð°Ð·Ñ€ÑÐ¶Ð°ÑŽÑ‚ Ð¿Ð¾Ñ‡Ñ‚Ð¸ ÐºÐ°Ð¶Ð´ÑƒÑŽ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²ÑƒÑŽ
Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñƒ. Ð•ÑÐ»Ð¸ Ð¸Ñ… ÑÐ¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ñ‚ÑŒ Ñ Ð¿Ð°ÑÑ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ð¼Ð¸
Ð»Ð¸Ð»Ð¸Ð¾Ð²Ñ‹Ð¼Ð¸ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ°- Ð¼Ð¸ Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð¼ Ð±Ð»ÐµÐ´Ð½Ð¾-
Ð³Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ð¾Ð³Ð¾ Ð½ÐµÐ±Ð°, Ð¾Ð½Ð¸ Ð¾Ð±Ð»Ð°Ð´Ð°ÑŽÑ‚ ÐµÑ‰Ñ‘ Ð±Ð¾Ð»ÑŒÑˆÐ¸Ð¼
ÑƒÑÐ¿Ð¾ÐºÐ°Ð¸- Ð²Ð°ÑŽÑ‰Ð¸Ð¼ ÑÑ„Ñ„ÐµÐºÑ‚Ð¾Ð¼. Ð•ÑÐ»Ð¸ Ð¸Ñ…
ÑÐ¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ñ‚ÑŒ Ñ Ð¶Ð¸Ð²Ñ‹Ð¼Ð¸, ÑÑ€ÐºÐ¸Ð¼Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°Ð¼Ð¸, Ð¾Ð½Ð¸
ÑÐ¾Ð·- Ð´Ð°Ð´ÑƒÑ‚ Ð¾ÑÐ½Ð¾Ð²Ð°Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ð¹, Ñ€Ð°Ð²Ð½Ð¾Ð¼ÐµÑ€Ð½Ñ‹Ð¹ Ð¸
Ð°Ð±ÑÐ¾Ð»ÑŽÑ‚Ð½Ð¾ Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ñ‹Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ñ„Ð¾Ð½. Ð’
ÑÐ¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ð¸ Ñ Ð´Ñ€ÑƒÐ³Ð¸Ð¼Ð¸ Ð±Ð¾Ð»ÐµÐµ ÑÑ€ÐºÐ¸Ð¼Ð¸,
Ð³Ð»ÑƒÐ±Ð¾ÐºÐ¸Ð¼Ð¸ ÐµÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸,
Ð½Ð°Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÑ€ Ñ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð»ÐµÑÐ½Ð¾Ð¹ Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ð¸
Ð¸ ÐºÑ€Ð°ÑÐ½Ð¾-ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸
(Ñ‚ÐµÑ€Ñ€Ð°ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ð¼Ð¸), Ð¾Ð½Ð¸ Ð¿ÐµÑ€Ðµ- Ð´Ð°Ð´ÑƒÑ‚ ÐºÑ€Ð°ÑÐ¾Ñ‚Ñƒ
Ð¸ Ð¿Ñ€Ð¾ÑÑ‚Ð¾Ñ€ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ð½Ð°Ñ…Ð¾Ð´Ð¸Ñ‚ÑÑ Ð·Ð° Ð¿Ñ€ÐµÐ
´ÐµÐ»Ð°Ð¼Ð¸ Ð¶Ð¸Ð»ÑŒÑ Ñ‡Ðµ- Ð»Ð¾Ð²ÐµÐºÐ°. Ð˜Ð½Ñ‚ÐµÑ€ÐµÑÐ½Ð¾ Ð½Ð°Ð±Ð»ÑŽÐ
´Ð°Ñ‚ÑŒ Ð·Ð° Ñ‚ÐµÐ¼, ÐºÐ°Ðº ÑÐ²Ð¾Ð¹ÑÑ‚Ð²Ð° Ð¾Ð´Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
Ð±ÑƒÐ´ÑƒÑ‚ Ð¼ÐµÐ½ÑÑ‚ÑŒÑÑ Ð² Ð·Ð°Ð²Ð¸ÑÐ¸Ð¼Ð¾ÑÑ‚Ð¸ Ð¾Ñ‚ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ñ
ÐºÐ°- ÐºÐ¸Ð¼Ð¸ Ð¼Ð°Ñ‚ÐµÑ€Ð¸Ð°Ð»Ð°Ð¼Ð¸ ÑÑ‚Ð¾Ñ‚ Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ð¸ÑÐ¿Ð¾Ð»ÑŒ-
Ð·ÑƒÐµÑ‚ÑÑ. ÐÐ°Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÑ€, Ð½ÐµÐ±ÐµÑÐ½Ð¾-Ð³Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ð¾Ð¹ Ð²
ÑÐ¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ð¸ Ñ Ð¾Ñ‚Ð¿Ð¾Ð»Ð¸Ñ€Ð¾Ð²Ð°Ð½Ð½Ð¾Ð¹, Ð³Ð»Ð°Ð´- ÐºÐ¾Ð¹
ÑÐ¾ÑÐ½Ð¾Ð¹ Ð±ÑƒÐ´ÐµÑ‚ ÑÐ¼Ð¾Ñ‚Ñ€ÐµÑ‚ÑŒÑÑ ÑÐ¾Ð²Ñ€Ðµ- Ð¼ÐµÐ½Ð½Ð¾, Ñ
Ð¿Ð°Ð»Ð¸ÑÐ°Ð½Ð´Ñ€Ð¾Ð²Ñ‹Ð¼ Ð´ÐµÑ€ÐµÐ²Ð¾Ð¼ â€“ Ð½ÐµÐ¶Ð½Ð¾, Ñ Ñ‚ÐµÐ¼Ð½Ñ‹Ð¼
Ð´ÑƒÐ±Ð¾Ð¼ Ð¿Ñ€Ð¸Ð¾Ð±Ñ€ÐµÑ‚ÐµÑ‚ Ð²Ð¸Ð´ ÑÑ‚Ð°Ñ€Ð¸Ð½Ñ‹.
ÐŸÑ€Ð¸Ð¼ÐµÐ½ÑÐ¹Ñ‚Ðµ Ð²ÑÑ‘ Ñ€Ð°Ð·- Ð½Ð¾Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·Ð¸Ðµ
ÐµÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… ÐºÑ€Ð°ÑÐ¾Ðº Ð´Ð»Ñ ÑÐ¾Ð·Ð´Ð°Ð½Ð¸Ñ
Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€ Ð¸ Ð½Ð¾Ð²Ñ‹Ñ… Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð², ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ
ÑÐ¾ÑÑ‚Ð°Ð²Ð»ÑÑŽÑ‚ Ñ†Ð²ÐµÑ‚ ÑÐ°Ð¼Ð¾Ð¹ Ð½Ð°- ÑˆÐµÐ¹ Ð¿Ð»Ð°Ð½ÐµÑ‚Ñ‹.
Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Â© Gina Boffa/Photonica Ð¡Ð¾Ð·Ð
´Ð°Ð½Ð¸Ðµ ÑÐ¾Ð±ÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ð¾Ð¹ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñ‹

ÐŸÑ€Ð¾Ñ„ÐµÑ□Ñ□Ð¸Ð¾Ð½Ð°Ð»ÑŒÐ½Ñ‹Ðµ Ñ…ÑƒÐ´Ð¾Ð¶Ð½Ð¸ÐºÐ¸-Ð¾Ñ„Ð¾Ñ€Ð¼Ð¸Ñ‚ÐµÐ»Ð¸
Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÐ½Ñ□ÑŽÑ‚, ÐºÐ¾Ð»Ð»ÐµÐºÑ†Ð¸ÑŽ Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·Ñ†Ð¾Ð² Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ□
Ð¾Ñ‚Ð²ÐµÑ€Ñ□Ñ‚Ð¸- Ñ□Ð¼Ð¸ Ð´Ð»Ñ□ Ð¿Ð¾Ð´Ð±Ð¾Ñ€Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð², ÐºÐ°Ðº,
Ð½Ð°Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÑ€, Ð² Ñ□Ð¸Ñ□Ñ‚ÐµÐ¼Ðµ Ð¿Ð¾Ð´Ð±Ð¾Ñ€Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²
ÐŸÐ°Ð½Ñ‚Ð¾Ð½Ð° Ñ□ Ð±Ð¾Ð»ÐµÐµ Ñ‡ÐµÐ¼ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ð¼
Ð¿Ñ€Ð¸Ñ□Ð²Ð¾ÐµÐ½Ñ‹ Ð½Ð¾Ð¼ÐµÑ€Ð° Ð¸Ð»Ð¸
Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÐ½Ñ□ÑŽÑ‚, Ñ□Ð¿Ð¾Ð½Ñ□ÐºÑƒÑŽ Ñ□Ð¸Ñ□Ñ‚ÐµÐ¼Ñƒ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²
ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ð°Ñ□ Ð½Ð°Ð·Ñ‹Ð²Ð°- ÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Â«Ð¢Ð¾Ð¹Ð¾Â». ÐœÐ¾Ð¶Ð½Ð¾
Ð¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·Ð¾Ð²Ð°Ñ‚ÑŒÑ□Ñ□ Ñ‚ÐµÐ¼Ð¸ Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·Ñ†Ð°Ð¼Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°,
ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ð¿Ñ€ÐµÐ´Ñ□Ñ‚Ð°Ð²Ð»ÐµÐ½Ñ‹ Ð² Ñ□Ñ‚Ð¾Ð¹ ÐºÐ½Ð¸Ð³Ðµ Ð¸
Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ñ‚ÑŒ Ð¸Ñ… Ñ□ Ð¾Ð´Ð½Ð¾Ð¹ Ð¸Ð· Ð²Ñ‹ÑˆÐµÑƒÐ¿Ð¾Ð¼Ñ□Ð½ÑƒÑ‚Ñ‹Ñ…
Ñ□Ð¸Ñ□Ñ‚ÐµÐ¼ Ð¸Ð»Ð¸,ÐµÑ□Ð»Ð¸ Ð¿Ð¾Ñ‚Ñ€ÐµÐ±ÑƒÐµÑ‚Ñ□Ñ□, Ð¼Ð¾Ð¶Ð½Ð¾
ÑƒÐ²ÐµÐ»Ð¸Ñ‡Ð¸Ñ‚ÑŒ Ñ‡Ð¸Ñ□Ð»Ð¾ Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·Ñ†Ð¾Ð² ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð¾Ðº
Ð¿Ñ€Ð¸Ð¾Ð±Ñ€ÐµÑ‚Ñ□ Ð¸Ñ… Ð² Ñ…ÑƒÐ´Ð¾Ð¶ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ð¾Ð¼ Ñ□Ð°Ð»Ð¾Ð½, â€“
Ð²Ñ□Ðµ Ñ□Ñ‚Ð¾ Ð¿Ð¾Ð¼Ð¾Ð¶ÐµÑ‚ Ñ€Ð°Ð·Ñ€Ð°Ð±Ð¾Ñ‚Ð°Ñ‚ÑŒ Ñ□Ð²Ð¾ÑŽ
Ñ□Ð¾Ð±Ñ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½ÑƒÑŽ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñƒ. ÐšÐ¾Ð¼Ð±Ð¸Ð½Ð¸Ñ€Ð¾Ð²Ð°Ð½Ð¸Ðµ
ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² (ÐšÑ€Ð°Ñ□Ð½Ñ‹Ð¹) Ð¢ÐµÐ¿Ð»Ð¾
ÐšÑ€Ð°Ñ□Ð½Ñ‹Ð¹ Ð±Ñ‹Ð» Ð¾Ð´Ð½Ð¸Ð¼ Ð¸Ð· Ð¿ÐµÑ€Ð²Ñ‹Ñ… Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ñ…
Ð¿Ð¸Ð³Ð¼ÐµÐ½Ñ‚Ð¾Ð², Ð¾Ñ‚ÐºÑ€Ñ‹Ñ‚Ñ‹Ñ… Ñ‡ÐµÐ»Ð¾Ð²ÐµÐºÐ¾Ð¼ Ð¸
Ð¸Ñ□Ð¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·Ð¾Ð²Ð°Ð½Ð½Ñ‹Ñ… ÐºÐ°Ðº ÐºÑ€Ð°Ñ□Ñ□Ñ‰ÐµÐµ Ð²ÐµÑ‰ÐµÑ□Ñ‚Ð²Ð¾ Ð
´Ð»Ñ□ Ð¾ÐºÑ€Ð°Ñ□ÐºÐ¸ Ð¸ ÑƒÐºÑ€Ð°ÑˆÐµÐ½Ð¸Ñ□. ÐŸÐ¾Ð±Ð»Ñ‘ÐºÐ½ÑƒÐ² Ñ□Ð¾
Ð²Ñ€ÐµÐ- Ð¼ÐµÐ½ÐµÐ¼, Ð¿Ð°Ð¼Ñ□Ñ‚Ð½Ð¸ÐºÐ¸ Ð¼Ð°Ñ‚ÐµÑ€Ð¸Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾Ð¹
ÐºÑƒÐ»ÑŒÑ‚ÑƒÑ€Ñ‹ Ñ‡ÐµÐ»Ð¾Ð²ÐµÐºÐ° Ð¸ Ñ€Ð¸Ñ□ÑƒÐ½ÐºÐ¸, Ñ□Ð¾Ð·Ð´Ð°Ð½Ð½Ñ‹Ðµ
Ñ□ Ð¿Ð¾Ð¼Ð¾Ñ‰ÑŒÑŽ ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð¸Ñ‚Ðµ- Ð»ÐµÐ¹, Ð¸Ð·Ð³Ð¾Ñ‚Ð¾Ð²Ð»ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ð¸Ð·
Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð½Ð¾Ð¹ ÐºÐ¸Ð½Ð¾Ð²Ð°Ñ€Ð¸, Ð²ÐµÑ€Ð¼Ð¸Ð»ÑŒÐ¾Ð½Ð° Ð¸ Ð´Ñ€ÑƒÐ³Ð¸Ñ…
Ð¼Ð¸Ð½ÐµÑ€Ð°Ð»Ð¾Ð², Ð´Ð¾Ð±Ñ‹Ñ‚Ñ‹Ñ… Ð¸Ð· Ñ€ÑƒÐ´Ñ‹, ÐºÐ¾Ð³Ð´Ð°- Ñ‚Ð¾
Ð±Ñ‹Ð»Ð¸ Ð¿Ñ€ÐµÐ´Ñ□Ñ‚Ð°Ð²Ð»ÐµÐ½Ñ‹ Ð½Ð°Ð¼Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ð±Ð¾Ð»ÐµÐµ
Ñ□Ñ€ÐºÐ¸Ð¼Ð¸ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸ ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²Ðµ- Ñ‚Ð°, Ñ‡ÐµÐ¼ Ð¼Ñ‹
Ð¾Ð±Ñ‹Ñ‡Ð½Ð¾ Ð²Ð¸Ð´Ð¸Ð¼ Ñ□ÐµÐ¹Ñ‡Ð°Ñ□. Ð¡Ð¼ÐµÑˆÐ°Ð¹Ñ‚Ðµ Ñ□Ñ‚Ð¸
ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾-ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ñ‹Ðµ Ñ‚Ð¾Ð½Ð° Ñ□ Ñ‡Ð¸Ñ□Ñ‚Ñ‹Ð¼Ð¸
Ð¿Ð¸Ð³Ð¼ÐµÐ½Ñ‚Ð°Ð¼Ð¸ Ð²Ñ€Ð¾Ð´Ðµ Ð½Ð°Ñ□Ñ‹Ñ‰ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾-
ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ñ‹Ñ… Ñ‚Ð¾Ð½Ð¾Ð² ÑˆÐ°Ñ„Ñ€Ð°Ð½Ð°, Ð¾Ñ…Ñ€Ñ‹ Ð¸ Ñ□Ð¸ÐµÐ½Ñ‹. Ð
¢Ñ‘Ð¼- Ð½Ñ‹Ðµ Ñ‚Ð¾Ð½Ð° Ð´Ñ€ÐµÐ²ÐµÑ□Ð¸Ð½Ñ‹, ÐºÐ°Ðº, Ð½Ð°Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÑ€,
Ñ‚Ð¸ÐºÐ¾Ð²Ð¾Ðµ Ð´ÐµÑ€ÐµÐ²Ð¾, ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾Ðµ Ð´ÐµÑ€ÐµÐ²Ð¾,
Ð²Ð¸ÑˆÐ½ÐµÐ²Ð¾Ðµ Ð´ÐµÑ€ÐµÐ²Ð¾, Ð¿ÐµÑ€ÐµÐ´Ð°ÑŽÑ‚ Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ð¾- Ñ‚Ñƒ Ð¸
Ð±Ð¾Ð³Ð°Ñ‚Ñ□Ñ‚Ð²Ð¾ Ñ□Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°. Ð’ Ð¾Ñ□Ð½Ð¾Ð²Ðµ
Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ð¾Ð³Ð¾ Ð»ÐµÐ¶Ð¸Ñ‚, Ñ□Ð°Ð¼Ð°Ð½, Ñ□Ð½Ñ‚Ð°Ñ€ÑŒ Ð¸
Ñ‚ÐµÑ€Ñ€Ð°ÐºÐ¾Ñ‚Ð°, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ñ‚Ð°ÐºÐ¶Ðµ Ñ…Ð¾Ñ€Ð¾- ÑˆÐ¾
Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°ÑŽÑ‚Ñ□Ñ□ Ñ□ ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸ ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾-
ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸. Â© Robert Ripps/Photonica
Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¼Ð¾Ð½Ð¾Ñ…Ñ€Ð¾Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ°Ñ□
ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð¢ÐµÐ¿Ð»Ð¾ (ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ñ‹Ð¹) Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð±Ð»Ð¸Ð·ÐºÐ¸Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÑˆÐºÐ°Ð»Ð°
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð´Ð¸Ñ□Ð³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ð¸ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð
´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð¢ÐµÐ¿Ð»Ð¾ (ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ñ‹Ð¹)
Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ€Ð°Ð·Ð±Ð¸Ð²Ð°Ð½Ð¸Ðµ ÑˆÐºÐ°Ð»Ñ‹ Ð
´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÑˆÐºÐ°Ð»Ð°
Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸ Ð¢ÐµÐ¿Ð»Ð¾ (ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ñ‹Ð¹) (ÐšÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾-
Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹) Ð”ÐµÑ€ÐµÐ²Ð½Ñ□ Ð□Ðµ Ð±Ð¾Ð¹Ñ‚ÐµÑ□ÑŒ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾
Ð¿Ñ€ÐµÐ´Ð»Ð°Ð³Ð°ÐµÑ‚, Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð°, Ð¸ Ñ□Ð¾Ð·Ð´Ð°Ð²Ð°Ð¹Ñ‚Ðµ
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ðµ Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ñ□, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ð²Ñ‹Ðµ ÐºÐ°Ð¶ÑƒÑ‚Ñ□Ñ□
Ð¿Ñ€Ð¾- Ñ□Ñ‚Ñ‹Ð¼Ð¸ Ð¸ Ð´Ð°Ð¶Ðµ Ð³Ñ€ÑƒÐ±Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ñ‹Ð¼Ð¸, Ð½Ð¾ ÐºÐ¾-
Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ð¿ÐµÑ€ÐµÐ´Ð°ÑŽÑ‚ Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ð¾. Ð“Ð¾Ñ€Ñ□Ñ‚ÑŒ Ñ□Ð¾Ð»Ð¸,
Ñ€Ð°Ð·Ð±Ñ€Ð¾Ñ□Ð°Ð½Ð½Ñ‹Ðµ Ð¶ÐµÐ»ÑƒÐ´Ð¸ Ð¸ Ñ‚Ð¾Ð»ÑŒÐºÐ¾ Ñ‡Ñ‚Ð¾
Ð¾Ð±Ð»ÐµÑ‚ÐµÐ²ÑˆÐ¸Ðµ Ð»Ð¸Ñ□Ñ‚ÑŒÑ□ â€“ Ð²Ñ□Ðµ Ñ□Ñ‚Ð¾ Ð¿Ð¾- Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ□Ð½Ð½Ð¾
Ð½Ð°Ð¿Ð¾Ð¼Ð¸Ð½Ð°ÐµÑ‚, Ð½Ð°Ð¼, Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ð¿ÐµÑ€- Ð²Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°,
ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ ÑƒÐ²Ð¸Ð´ÐµÐ» Ñ‡ÐµÐ»Ð¾Ð²ÐµÐº, ÐµÐ¼Ñƒ Ð¿Ð¾Ð´Ð°Ñ€Ð¸Ð»Ð°
Ð·ÐµÐ¼Ð»Ñ□. Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð»ÑƒÑ‡ÑˆÐµ Ð²Ñ□ÐµÐ³Ð¾
Ñ‚Ð°Ð¼, Ð³Ð´Ðµ Ð¾Ð½Ð¸ Ð²Ñ‹- Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ñ□ÑŽÑ‚, Ñ□Ð²Ð¾ÑŽ

Ñ□Ð¾Ð±Ñ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½ÑƒÑŽ Ñ„ÑƒÐ½Ðº- Ñ†Ð¸ÑŽ, â€“ Ñ□Ñ‚Ð¾ Ð³Ñ€ÑƒÐ±Ñ‹Ðµ Ð¸
ÑˆÐµÑ€Ð¾Ñ…Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ñ‹Ðµ Ð¿Ð¾Ð²ÐµÑ€Ñ…Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸, Ñ‚Ð°ÐºÐ¸Ðµ ÐºÐ°Ðº Ð
´Ð¶ÑƒÑ‚Ð¾Ð²Ð°Ñ□ Ð¼ÐµÑˆÐºÐ¾Ð²Ð¸Ð½Ð°, Ð»ÑŒÐ½Ñ□Ð½Ð¾Ð¹ Ñ…Ð¾Ð»Ñ□Ñ‚, Ð½ÐµÐ¾Ñ‚-
Ð±ÐµÐ»ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ‚ÐºÐ°Ð½Ð¸ â€“ Ð¸Ñ… Ð¼Ð¾Ð¶Ð½Ð¾ Ñ□Ð¾Ñ‡Ðµ- Ñ‚Ð°Ñ‚ÑŒ Ñ□
Ð½ÐµÐ¾Ð±Ñ€Ð°Ð±Ð¾Ñ‚Ð°Ð½Ð½Ð¾Ð¹ Ð´Ñ€ÐµÐ²ÐµÑ□Ð¸Ð½Ð¾Ð¹, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ð°Ñ□ Ð¿Ñ€ÐµÐ
´Ð°Ñ□Ñ‚ Ð´ÑƒÑ… Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ñ‹. Ð”Ð¾- Ð±Ð°Ð²ÑŒÑ‚Ðµ Ð¾Ñ…Ñ€Ñ□Ð½Ñ‹Ðµ Ð¸
ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ñ‹Ðµ Ð¾Ñ‚- Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¸ Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°,
Ð½ÐµÑ□ÐºÐ¾Ð»ÑŒÐºÐ¾ Ð¼Ð°Ð·ÐºÐ¾Ð² ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ð´Ð»Ñ□ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾,
Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ Ð¿ÐµÑ€ÐµÐ´Ð°Ñ‚ÑŒ Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ð¾Ð¿Ð°Ð²ÑˆÐ¸Ñ… Ð»Ð¸Ñ□Ñ‚ÑŒÐµÐ² Ð¸
Ð¶Ð°Ñ€ÐµÐ½Ñ‹Ñ… ÐºÐ°ÑˆÑ‚Ð°Ð½Ð¾Ð². Ð□Ð°Ñ□Ñ‹Ñ‰ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ, Ð±Ð¾Ð³Ð°Ñ‚Ñ‹Ðµ
Ñ‚Ð¾Ð½Ð° Ñ□Ð³Ð¾Ð´, ÐºÐ°Ðº, Ð½Ð°Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÑ€, Ñ‚ÐµÐ¼Ð½Ð¾-ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ñ‹Ð¹
(Ñ†Ð²ÐµÑ‚ ÑˆÐµÐ»ÐºÐ¾Ð²Ð¸Ñ†Ñ‹), Ð¾Ð³Ð½ÐµÐ½Ð½Ð¾-Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹ Ð¸
Ð¼Ð°Ð»Ð¸Ð½Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹, Ñ…Ð¾Ñ€Ð¾ÑˆÐ¾ Ð±ÑƒÐ´ÑƒÑ‚ Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ñ‚ÑŒÑ□Ñ□ Ñ□
Ñ€Ð°Ð·- Ð½Ð¾Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ð¼ÐµÐ´Ð¾Ð²Ñ‹Ð¼Ð¸ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ°Ð¼Ð¸
Ð¾Ñ€ÐµÑ…Ð¾Ð²Ð¾Ð³Ð¾ Ð´ÐµÑ€ÐµÐ²Ð°. Â© Arthur Tress/Photonica
Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¼Ð¾Ð½Ð¾Ñ…Ñ€Ð¾Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ°Ñ□
ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð”ÐµÑ€ÐµÐ²Ð½Ñ□ (ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾-Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹)
Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð±Ð»Ð¸Ð·ÐºÐ¸Ñ…
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð´Ð¸Ñ□Ð³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ð¸
Ð”ÐµÑ€ÐµÐ²Ð½Ñ□ (ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾-Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹) ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð
´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ€Ð°Ð·Ð±Ð¸Ð²Ð°Ð½Ð¸Ðµ ÑˆÐºÐ°Ð»Ñ‹ Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ…
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸ Ð”ÐµÑ€ÐµÐ²Ð½Ñ□
(ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾-Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹) (ÐžÑ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹) Ð”Ð¾Ð¼Ð°ÑˆÐ½Ð¸Ð¹
ÑƒÑŽÑ‚, Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð²Ð¾Ð·Ð²Ñ€Ð°Ñ‰Ð°ÑŽÑ‚, Ð½Ð°Ñ□ Ðº
Ð½Ð°ÑˆÐ¸Ð¼ ÐºÐ¾Ñ€Ð½Ñ□Ð¼. Ð□Ð° Ð¿Ñ€Ð¾Ñ‚Ñ□Ð¶Ðµ- Ð½Ð¸Ð¸ Ð¼Ð½Ð¾Ð³Ð¸Ñ…
Ð²ÐµÐºÐ¾Ð² ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ñ‹Ðµ Ñ‚Ð¾Ð½Ð° Ñ□ ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ñ‹Ð¼
Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð¼ Ð¿Ñ€Ð¾Ð´Ð¾Ð»Ð¶Ð°- Ð»Ð¸ Ð¾Ñ□Ñ‚Ð°Ð²Ð°Ñ‚ÑŒÑ□Ñ□ Ñ□Ð°Ð¼Ñ‹Ð¼Ð¸
Ð²Ð¾Ñ□Ñ‚Ñ€ÐµÐ±Ð¾Ð²Ð°Ð½- Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ð´Ð»Ñ□ Ð¸Ð½Ñ‚ÐµÑ€ÑŒÐµÑ€Ð¾Ð² Ð²Ñ□ÐµÑ…
Ñ‚Ð¸Ð¿Ð¾Ð². ÐÑ‚Ð¾Ñ‚ Ð¾Ñ‡ÐµÐ½ÑŒ Ð²Ð°Ð¶Ð½Ñ‹Ð¹ Ð´Ð»Ñ□ Ñ…ÑƒÐ´Ð¾Ð¶Ð½Ð¸- ÐºÐ¾Ð²
Ñ†Ð²ÐµÑ‚, Ð¾Ñ‚Ð»Ð¸Ñ‡Ð°ÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Ð±Ð¾Ð³Ð°Ñ‚Ñ□Ñ‚Ð²Ð¾Ð¼ Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ñ‹Ñ…
Ñ‚Ð¾Ð½Ð¾Ð², Ð¿Ð¾Ð´Ð°Ñ€ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ□Ð°Ð¼Ð¾Ð¹ Ð·ÐµÐ¼Ð»ÐµÐ¹. Ð’
Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ð¸ Ñ□ Ð±ÐµÐ»Ñ‹Ð¼ Ð²Ñ□Ðµ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¸ Ñ‚ÐµÑ€Ñ€Ð°ÐºÐ¾Ñ‚Ñ‹
Ñ□Ñ‚Ð°Ð½Ð¾Ð²Ñ□Ñ‚Ñ□Ñ□ Ñ†ÐµÐ½- Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ñ‹Ð¼ Ð¼Ð¾Ñ‚Ð¸Ð²Ð¾Ð¼ Ð¿Ð¾Ð²Ñ□ÐµÐ
´Ð½ÐµÐ²Ð½Ð¾Ð¹ Ñ□Ð»ÐµÐ³Ð°Ð½Ñ‚Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸, Ð°Ñ□Ñ□Ð¾Ñ†Ð¸Ð¸Ñ€ÑƒÑŽÑ‰ÐµÐ¹Ñ□Ñ□ Ñ□
Ð¿Ñ€ÐµÐ²Ð¾Ñ□Ñ…Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ð¼ ÐºÐ°Ð¿ÑƒÑ‡Ð¸Ð½Ð¾. Ð¡Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°- Ð½Ð¸Ðµ Ñ□
Ñ‚ÐµÐ¼Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸ ÑˆÐ¾ÐºÐ¾Ð»Ð°Ð´Ð½Ð¾- ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ð¾Ð³Ð¾
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¸Ð·Ð¼ÐµÐ½Ð¸Ñ‚, Ð½Ð°Ñ□Ñ‚Ñ€Ð¾- ÐµÐ½Ð¸Ðµ, Ñ□Ð¾Ð·Ð
´Ð°Ñ□Ñ‚, Ð°Ñ‚Ð¼Ð¾Ñ□Ñ„ÐµÑ€Ñƒ ÐºÐ¾Ð¼Ñ„Ð¾Ñ€Ñ‚Ð° Ð¸ Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ð°, ÐºÐ°Ðº Ð
´ÐµÑ€ÐµÐ²ÐµÐ½Ñ□ÐºÐ¾Ðµ Ð¼Ð°Ñ□Ð»Ð¾, Ð½Ð°- Ð¼Ð°Ð·Ð°Ð½Ð½Ð¾Ðµ Ñ‚Ð¾Ð»Ñ□Ñ‚Ñ‹Ð¼
Ñ□Ð»Ð¾ÐµÐ¼ Ð½Ð° Ñ□Ð²ÐµÐ¶Ð¸Ð¹ Ñ…Ð»ÐµÐ±, Ñ‚Ð¾Ð»ÑŒÐºÐ¾ Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ð¿Ð¾Ð
´Ð¶Ð°Ñ€ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ð¹ Ð² Ñ‚Ð¾- Ñ□Ñ‚ÐµÑ€Ðµ ÑƒÑ‚Ñ€Ð¾Ð¼ Ð² Ð²Ñ‹Ñ…Ð¾Ð´Ð½Ð¾Ð¹ Ð
´ÐµÐ½ÑŒ. Ð”Ð»Ñ□ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾ Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ Ñ€Ð°Ñ□ÑˆÐ¸Ñ€Ð¸Ñ‚ÑŒ Ð¾Ð±Ð»Ð°Ñ□Ñ‚ÑŒ
Ñ□Ñ‚Ð¾- Ð³Ð¾ ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°, Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‚ÐµÑ□ÑŒ
Ðº Ñ□Ð²Ð¾Ð¸Ð¼ Ð¾Ñ‰ÑƒÑ‰ÐµÐ½Ð¸Ñ□Ð¼; Ð¿Ð¾Ð¿Ñ€Ð¾Ð±ÑƒÐ¹Ñ‚Ðµ Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ñ‚ÑŒ
Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ð¾ Ñ‡Ð¸Ñ□Ñ‚Ñ‹Ñ… Ñ□Ð¾Ð»Ð½ÐµÑ‡Ð½Ð¾- Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ñ‹Ñ… Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð²,
ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ð¾- ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ñ‹Ñ… Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð² Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ„Ð° Ð¸
Ð±Ð¾Ð»ÐµÐµ Ð¿Ñ€Ð¾Ñ…Ð»Ð°Ð´Ð½Ñ‹Ñ… Ð¾Ð»Ð¸Ð²ÐºÐ¾Ð²Ð¾-Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ñ… Ð¿Ð¾-
Ð»ÑƒÑ‚Ð¾Ð½Ð¾Ð², Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ Ð¿ÐµÑ€ÐµÐ´Ð°Ñ‚ÑŒ Ð°Ñ‚Ð¼Ð¾Ñ□Ñ„ÐµÑ€Ñƒ
Ð»ÐµÑ□Ð¾Ð². Â© David Zaitz/NM- Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
Ð¼Ð¾Ð½Ð¾Ñ…Ñ€Ð¾Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ°Ñ□ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð”Ð¾Ð¼Ð°ÑˆÐ½Ð¸Ð¹
ÑƒÑŽÑ‚, (Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹) Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð±Ð»Ð¸Ð·ÐºÐ¸Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð
´Ð¸Ñ□Ð³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ð¸ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ…
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð”Ð¾Ð¼Ð°ÑˆÐ½Ð¸Ð¹ ÑƒÑŽÑ‚, (Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹)
Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ€Ð°Ð·Ð±Ð¸Ð²Ð°Ð½Ð¸Ðµ ÑˆÐºÐ°Ð»Ñ‹ Ð
´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÑˆÐºÐ°Ð»Ð°
Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸ Ð”Ð¾Ð¼Ð°ÑˆÐ½Ð¸Ð¹ ÑƒÑŽÑ‚, (Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹)
(ÐšÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ñ‹Ð¹ + Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾-Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹) Ð¨ÐµÑ€Ð¾Ñ…

Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ð¾ÑÑ‚ÑŒ Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° â€“ Ð³Ð»Ð°Ð²Ð½Ñ‹Ðµ
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¿Ð¾Ð²ÑÐµÐ´Ð½ÐµÐ²Ð½Ð¾Ð¹ Ð¶Ð¸Ð·Ð½Ð¸. ÐÑ‚Ð¸ Ð¿Ñ€Ð¾ÑÑ‚Ñ‹Ðµ,
Ñ‡Ð¸ÑÑ‚Ñ‹Ðµ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¸ ÑÐ¾Ð·Ð´Ð°ÑŽÑ‚ Ð¾Ñ‰ÑƒÑ‰ÐµÐ½Ð¸Ðµ
Ð¿Ð¾Ñ‚Ñ‘Ñ€Ñ‚Ð¾ÑÑ‚Ð¸, Ð¸Ð·Ð½Ð¾ÑˆÐµÐ½Ð½Ð¾ÑÑ‚Ð¸, Ð½ÐµÑ€Ð¾Ð²- Ð½Ð¾Ð¹
Ð¿Ð¾Ð²ÐµÑ€Ñ…Ð½Ð¾ÑÑ‚Ð¸. ÐžÑ‚ Ð½ÐµÐ·Ð°Ð¼Ñ‹ÑÐ»Ð¾Ð²Ð°- Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
Ð±ÑƒÐ»Ñ‹Ð¶Ð½Ð¸ÐºÐ¾Ð² Ð´Ð¾ Ð±Ð¾Ð³Ð°Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ°Ð¼Ð¸
Ð·Ð¾Ð»Ð¾Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾ Ð¼Ñ‘Ð´Ð° Ð¸ ÑÑ‚Ð°Ñ€Ð¸Ð½- Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ð¿ÐµÑ€Ð³Ð°Ð¼ÐµÐ½Ñ‚Ð°
â€“ Ð²ÑÐµ ÑÑ‚Ð¸ Ð¿Ñ€Ð¾ÑÑ‚Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð½Ð°Ð²ÐµÐ²Ð°ÑŽÑ‚ Ð¼Ñ‹ÑÐ»ÑŒ
Ð¾ Ð½ÐµÐ¿Ð¾Ð´Ð´ÐµÐ»ÑŒ- Ð½Ð¾ÑÑ‚Ð¸, Ð¿Ð¾Ñ‡Ð½Ð¾ÑÑ‚Ð¸ Ð¸ Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ðµ.
ÐºÐ¾Ð³Ð´Ð° Ð²Ñ‹ Ñ€Ð°Ð±Ð¾Ñ‚Ð°ÐµÑ‚Ðµ Ñ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ°Ð¼Ð¸
ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ð¾Ð³Ð¾, Ñ‡ÐµÑ€Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ð¸ Ð¶Ñ‘Ð»Ñ‚Ð¾-Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ð¾Ð³Ð¾
Ð² Ð¼Ð¾- Ð½Ð¾Ñ…Ñ€Ð¾Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑÐºÐ¾Ð¹ ÑˆÐºÐ°Ð»Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð², Ð¾Ð±-
Ñ€Ð°Ñ‰Ð°Ð¹Ñ‚Ðµ Ð¿Ñ€Ð¸ÑÑ‚Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾Ðµ Ð²Ð½Ð¸Ð¼Ð°Ð½Ð¸Ðµ Ð½Ð°
Ñ‚ÐµÐºÑÑ‚ÑƒÑ€Ñƒ. ÐžÐ±ÑŠÐµÐ´Ð¸Ð½Ð¸Ñ‚Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ñ…Ð¾Ð»ÑÑ‚Ð° Ñ
Ð³Ñ€ÑƒÐ±Ð¾Ð¹ Ð´Ð¶ÑƒÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ñ‚ÐºÐ°Ð½ÑŒÑŽ Ð¸ Ð½ÐµÐ¾Ñ‚- Ð±ÐµÐ»ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ð¼
Ñ…Ð»Ð¾Ð¿ÐºÐ¾Ð¼, Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ Ð¿ÐµÑ€ÐµÐ´Ð°Ñ‚ÑŒ Ð°Ñ‚Ð¼Ð¾ÑÑ„ÐµÑ€Ñƒ Ð
´ÐµÑ€ÐµÐ²ÐµÐ½ÑÐºÐ¾Ð¹ Ð¶Ð¸Ð·Ð½Ð¸. ÐŸÑ€Ð¸Ð´Ð°Ð¹Ñ‚Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ñƒ
Ð½ÐµÐºÑ€Ð°ÑˆÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ð´ÐµÑ€ÐµÐ²- Ð²ÑÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ð¿Ð¾Ð»Ð¾Ð² Ñ‚Ñ‘Ð¿Ð»Ñ‹Ð¹
ÐµÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ð¹ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½Ð¾Ðº Ð¸ Ð´Ð¾Ð±Ð°Ð²ÑŒÑ‚Ðµ
Ñ‚ÐµÐºÑÑ‚ÑƒÑ€Ñƒ Ñ Ð¿Ð¾- Ð¼Ð¾Ñ‰ÑŒÑŽ ÑˆÐµÑ€ÑÑ‚ÑÐ½Ñ‹Ñ… ÐºÐ¾Ð²Ñ€Ð¸ÐºÐ¾Ð²
Ð¸ Ð¿Ð¾- ÐºÑ€Ñ‹Ð²Ð°Ð» Ð½Ð° ÐºÑ€Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ð¸. ÐœÐ¾Ð¶Ð½Ð¾ ÑÐ¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ñ‚ÑŒ
Ð³Ð¾Ð»Ñ‹Ðµ Ð²ÐµÑ‚Ð²Ð¸ Ñ Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¼Ð¸ ÑÐ³Ð¾Ð´Ð°Ð¼Ð¸ Ð¸
Ð¾ÐºÑ€Ð°ÑˆÐµÐ½Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ð² ÐºÑ€ÐµÐ¼Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚ ÐºÑƒÐ²ÑˆÐ¸Ð½Ð°Ð¼Ð¸ Ð
´Ð»Ñ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ ÑÐ¾Ð·Ð´Ð°Ñ‚ÑŒ Ñ‚Ñ‘Ð¿Ð»ÑƒÑŽ, Ð
´ÐµÑ€ÐµÐ²ÐµÐ½ÑÐºÑƒÑŽ Ð¾Ð±ÑÑ‚Ð°Ð½Ð¾Ð²ÐºÑƒ. Â© Rob Kearney/Photonica
Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¨ÐµÑ€Ð¾Ñ…Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ð¾ÑÑ‚ÑŒ
(ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ñ‹Ð¹ + Ð¶Ñ‘Ð»Ñ‚Ð¾-Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹) Ð¼Ð¾Ð½Ð¾Ñ…
Ñ€Ð¾Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑÐºÐ°Ñ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð±Ð»Ð¸Ð·ÐºÐ¸Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð
´Ð¸ÑÐ³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ð¸ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ…
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð¨ÐµÑ€Ð¾Ñ…Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ð¾ÑÑ‚ÑŒ (ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ñ‹Ð¹ +
Ð¶Ñ‘Ð»Ñ‚Ð¾-Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹) Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
Ñ€Ð°Ð·Ð±Ð¸Ð²Ð°Ð½Ð¸Ðµ ÑˆÐºÐ°Ð»Ñ‹ Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²
ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾ÑÑ‚Ð¸ Ð¨ÐµÑ€Ð¾Ñ…Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ð¾ÑÑ‚ÑŒ
(ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ñ‹Ð¹ + Ð¶Ñ‘Ð»Ñ‚Ð¾-Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ñ‹Ð¹) (Ð—
ÐµÐ»Ñ‚Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ð¾-ÑÐµÑ€Ñ‹Ð¹) Ð‘ÐµÐ·Ð¼ÑÑ‚ÐµÐ¶Ð½Ð¾ÑÑ‚ÑŒ ÐžÑ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¸
ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ð¾Ð³Ð¾ ÑÐµÑ€Ð¾Ð³Ð¾ Ð¸ Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²
ÑƒÑÐ¿Ð¾ÐºÐ°Ð¸Ð²Ð°ÑŽÑ‰Ðµ Ð´ÐµÐ¹ÑÑ‚Ð²ÑƒÑŽÑ‚ Ð½Ð° Ñ‡ÐµÐ»Ð¾Ð²ÐµÐºÐ°.
Ð•ÑÐ»Ð¸ Ð¸Ñ… Ð¸ÑÐ¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·Ð¾Ð²Ð°Ñ‚ÑŒ Ð²Ð¼ÐµÑÑ‚Ðµ, Ñ‚Ð¾ Ð¾Ð½Ð¸ ÑÐ¾Ð·-
Ð´Ð°Ð´ÑƒÑ‚ Ð½Ð°ÑÑ‚Ñ€Ð¾ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð¼Ð°ÐºÑÐ¸Ð¼Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾Ð¹
Ð±ÐµÐ·Ð¼ÑÑ‚ÐµÐ¶Ð½Ð¾ÑÑ‚Ð¸ Ð¸ Ð¿Ð¾ÐºÐ¾Ñ. ÐŸÐ¾Ð¿Ñ€Ð¾- Ð±ÑƒÐ¹Ñ‚Ðµ
ÑÐºÐ¾Ð¼Ð±Ð¸Ð½Ð¸Ñ€Ð¾Ð²Ð°Ñ‚ÑŒ ÑÐ¿Ð¾ÐºÐ¾Ð¹Ð½ÑƒÑŽ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñƒ Ñ
Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸ Ð·Ð¾Ð»Ð¾Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð¼
Ð¿Ð¾Ð¼ÐµÑ€Ð°Ð½Ñ†Ð°, Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸ Ð±ÑƒÐ¹Ð²Ð¾- Ð»Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ ÐºÐ¾Ð¶Ð¸
(Ñ‚ÐµÐ¼Ð½Ð¾-Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ñ‹Ð¹), ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾- Ñ€Ñ‹Ðµ Ð¿Ñ€Ð¸Ð´Ð°Ð´ÑƒÑ‚ Ð½Ð°ÑÑ‹Ñ
‰ÐµÐ½Ð½Ð¾ÑÑ‚ÑŒ ÑÑ‚Ð¸Ð¼ ÑÐ¾Ð»Ð½ÐµÑ‡Ð½Ñ‹Ð¼ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ°Ð¼, Ð² Ñ‚Ð¾
Ð²Ñ€ÐµÐ¼Ñ ÐºÐ°Ðº Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ñ‹Ð¹ Ñ€ÑÐ´Ð¾Ð¼ Ñ ÑÐµÑ€Ñ‹Ð¼ Ð¿Ð¾Ð
´Ñ‡ÐµÑ€ÐºÐ½ÐµÑ‚ Ð¸Ð·ÑÑ‰ÐµÑÑ‚Ð²Ð¾. Ð’ Ð¸Ñ‚Ð¾Ð³Ðµ Ñƒ Ð½Ð°Ñ
Ð¿Ð¾Ð»ÑƒÑ‡Ð¸Ñ‚ÑÑ Ñ‚Ð°ÐºÐ¾Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ð¹
Ð½Ð°Ð¿Ð¾Ð¼Ð½Ð¸Ñ‚ Ð¾Ð± Ð¾ÑÐµÐ½Ð½ÐµÐ¼ ÑÐ¾Ð»Ð½Ñ†Ðµ, ÑÑ‚Ð°Ð½Ð¾Ð²ÑÑ
‰ÐµÐ¼ÑÑ Ð²ÑÐµ Ð±Ð¾Ð»ÐµÐµ Ñ…Ð¾Ð»Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ð¼. ÐÐ°ÑÑ‚Ñ€Ð¾ÐµÐ½Ð¸Ðµ,
ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾- Ñ€Ð¾Ðµ Ð¿ÐµÑ€ÐµÐ´Ð°ÐµÑ‚ ÑÑ‚Ð¾Ñ‚ Ñ†Ð²ÐµÑ‚, ÑÑ‚Ð°Ð½Ð¾Ð²Ð¸Ñ‚ÑÑ
ÑÑ‚Ñ€Ð¾Ð³Ð¸Ð¼, Ð±Ð»Ð°Ð³Ð¾Ñ€Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ð¼ Ñ‚Ð¾Ð³Ð´Ð°, ÐºÐ¾Ð³Ð´Ð° Ð¾Ð½
Ð²ÐºÐ»ÑŽÑ‡ÐµÐ½ Ð² Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñƒ Ñ Ð¼ÐµÑ‚Ð°Ð»Ð»Ð¸Ñ‡Ðµ- ÑÐºÐ¸Ð¼Ð¸
Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ°Ð¼Ð¸ Ð¸ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸ Ð¾Ñ‚Ð¿Ð¾Ð»Ð¸- Ñ€Ð¾Ð²Ð°Ð½Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ð
´ÐµÑ€ÐµÐ²Ð°. Ð•ÑÐ»Ð¸ ÑÐ¾ÐµÐ´Ð¸Ð½Ð¸Ñ‚ÑŒ ÑÑ‚Ð¾Ñ‚ Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ñ
Ñ€Ð°Ð·Ð½Ð¾Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½- ÐºÐ°Ð¼Ð¸ Ð±ÐµÐ»Ð¾Ð³Ð¾, Ð¾Ð½
Ð¿ÐµÑ€ÐµÐ´Ð°ÑÑ‚ Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ð¿Ð»Ñ- Ð¶Ð°, Ð¿ÐµÑÐºÐ°,
Ð²Ñ‹Ð±ÐµÐ»ÐµÐ½Ð½Ð¾Ð³Ð¾ ÑÐ¾Ð»Ð½Ñ†ÐµÐ¼ Ð¸ Ð¼Ð¾Ñ€ÑÐºÐ¸Ð¼Ð¸ Ð²Ð¾Ð»Ð½Ð°Ð¼Ð¸.

Â© mm/Photonica Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¼Ð¾Ð½Ð¾Ñ…
Ñ€Ð¾Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ°Ñ□ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð‘ÐµÐ·Ð¼Ñ□Ñ‚ÐµÐ¶Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ
(Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ð¾-Ñ□ÐµÑ€Ñ‹Ð¹) Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð±Ð»Ð¸Ð·ÐºÐ¸Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð
´Ð¸Ñ□Ð³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ð¸ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ…
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð‘ÐµÐ·Ð¼Ñ□Ñ‚ÐµÐ¶Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ (Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ð¾-Ñ□ÐµÑ€Ñ‹Ð¹)
Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ€Ð°Ð·Ð±Ð°Ð²Ð»ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ ÑˆÐºÐ°Ð»Ñ‹ Ð
´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÑˆÐºÐ°Ð»Ð°
Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸ Ð‘ÐµÐ·Ð¼Ñ□Ñ‚ÐµÐ¶Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ
(Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ð¾-Ñ□ÐµÑ€Ñ‹Ð¹) (Ð–ÐµÐ»Ñ‚Ð¾-Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹)
ÐŸÐ°Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ€Ð°Ð»ÑŒ ÐœÐ½Ð¾Ð³Ð¾Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·Ð¸Ðµ Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾-Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ñ…
Ñ‚Ð¾- Ð½Ð¾Ð² Ð² Ñ€Ð°Ð·Ð»Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ñ… Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ñ□Ñ… Ð¼Ñ‹
Ð²Ñ□Ñ‚Ñ€ÐµÑ‡Ð°ÐµÐ¼ Ð² Ð¼Ð¸Ñ€Ð½Ð¾Ð¹ Ð´ÐµÑ€ÐµÐ²Ð½Ðµ, Ð³Ð´Ðµ Ð¿Ð¾Ð
´Ñ‚Ð²ÐµÑ€Ð¶Ð´Ð°ÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Ð±ÐµÑ□ÐºÐ¾Ð½ÐµÑ‡Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ Ð¸Ð·- Ð¼ÐµÐ½ÐµÐ½Ð¸Ð¹
Ð² Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ðµ. Ð¦Ð²ÐµÑ‚ Ð¼ÐµÐ½Ñ□ÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Ð² Ð·Ð°Ð²Ð¸Ñ□Ð¸Ð¼Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸
Ð¾Ñ‚ Ð¸Ð·Ð¼ÐµÐ½ÐµÐ½Ð¸Ð¹ Ñ□Ð°Ð¼Ð¾Ð¹ Ð¶Ð¸Ð·Ð½Ð¸: Ð½Ð° Ñ□Ð¼ÐµÐ½Ñƒ Ð·Ð¸Ð¼Ðµ
Ð¸Ð´ÐµÑ‚ Ð²ÐµÑ□Ð½Ð°, Ð²ÐµÑ□Ð½Ð° Ñ□Ð¼ÐµÐ½Ñ□ÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð¼ â€“ ÐºÐ°Ð¶Ð
´Ð¾Ðµ Ð²Ñ€ÐµÐ¼Ñ□ Ð³Ð¾Ð´Ð° Ð¿Ñ€ÐµÐ´Ñ□Ñ‚Ð°Ð²Ð»Ñ□ÐµÑ‚ Ñ□Ð²Ð¾Ð¹ Ð±ÐµÑ□-
ÐºÐ¾Ð½ÐµÑ‡Ð½Ð¾ Ñ€Ð°Ð·Ð½Ð¾Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·Ð½Ñ‹Ð¹ Ð½Ð°Ð±Ð¾Ñ€ Ñ†Ð²Ðµ- Ñ‚Ð¾Ð² Ð¸
Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð² Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾ Ð¸ Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ð¾Ð³Ð¾, Ð½Ð°Ñ‡Ð¸Ð½Ð°Ñ□
Ð¾Ñ‚ Ð±Ð»ÐµÐ´Ð½Ñ‹Ñ… Ð½ÐµÐ¸Ð½Ñ‚ÐµÐ½Ñ□Ð¸Ð²- Ð½Ñ‹Ñ… Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ð¾-
Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ñ‹Ñ… Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð² Ð»Ð¸- ÐºÐµÑ€Ð° ÑˆÐ°Ñ€Ñ‚Ñ€ÐµÐ· Ð´Ð¾
Ð½Ð°Ñ□Ñ‹Ñ‰ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ…, Ð³Ð»Ñƒ- Ð±Ð¾ÐºÐ¸Ñ… Ñ‚Ð¾Ð½Ð¾Ð² Ð¾Ð»Ð¸Ð²ÐºÐ¾Ð²Ð¾Ð³Ð¾
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°. ÐÑ‚Ð¸ Ñ□Ð¿Ð¾ÐºÐ¾Ð¹Ð½Ñ‹Ðµ, Â«Ð´ÐµÑ€ÐµÐ²ÐµÐ½Ñ□ÐºÐ¸ÐµÂ» Ñ‚Ð¾Ð½Ð°
Ð½Ð°- Ð¿Ð¾Ð¼Ð¸Ð½Ð°ÑŽÑ‚ Ð½Ð°Ð¼ Ð¾ Ð·Ð½Ð°Ñ‡ÐµÐ½Ð¸Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²
Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ñ‹. ÐžÐ´Ð¸Ð½ Ð¸Ð· Ñ□Ð°Ð¼Ñ‹Ñ… Ð²Ð°Ð¶Ð½Ñ‹Ñ…
ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð², Ñ□Ð¸Ð¼Ð²Ð¾Ð»Ð¸Ð·Ð¸- Ñ€ÑƒÑŽÑ‰Ð¸Ñ…
Ð²Ð¾Ð·Ñ€Ð¾Ð¶Ð´ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð¸ Ñ€Ð¾Ñ□Ñ‚, â€“ Ñ□Ñ‚Ð¾ Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾-Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹;
Ð»ÑƒÑ‡ÑˆÐµ Ð²Ñ□ÐµÐ³Ð¾ ÐµÐ³Ð¾ ÐºÐ¾Ð¼Ð±Ð¸Ð½Ð¸Ñ€Ð¾Ð²Ð°Ñ‚ÑŒ Ñ□ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸ Ð
´Ñ€ÑƒÐ³Ð¸Ñ… ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð², ÐºÐ°Ðº Ð½Ð°Ð¿Ñ€Ð¸-
Ð¼ÐµÑ€, ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ñ‹Ð¹ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ° Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ„Ð°, Ñ‡Ð¸- Ñ□Ñ‚Ñ‹Ð¹
(Â«Ð¿Ñ€Ð¾Ð²Ð¸Ð½Ñ†Ð¸Ð°Ð»ÑŒÐ½Ñ‹Ð¹Â») Ð³Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ð¾Ð¹, Ð½ÐµÐ¾Ð´Ð½Ð¾Ñ€Ð¾Ð
´Ð½Ñ‹Ð¹, Ð±ÑƒÐ´Ñ‚Ð¾ Ð¸Ñ□Ð¿ÐµÑ‰Ñ€ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ð¹ Ð±Ð»Ð¸ÐºÐ°Ð¼Ð¸ Ñ□Ð¾Ð»Ð½Ñ†Ð°,
Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ñ‹Ð¹. Â© Erik Rank/Photonica Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
Ð¼Ð¾Ð½Ð¾Ñ…Ñ€Ð¾Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ°Ñ□ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° ÐŸÐ°Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ€Ð°Ð»ÑŒ
(Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾-Ð·ÐµÐ»Ñ‘Ð½Ñ‹Ð¹) Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð±Ð»Ð¸Ð·ÐºÐ¸Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð
´Ð¸Ñ□Ð³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ð¸ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ…
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÐŸÐ°Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ€Ð°Ð»ÑŒ (Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾-Ð·ÐµÐ»Ñ‘Ð½Ñ‹Ð¹)
Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ€Ð°Ð·Ð±Ð°Ð²Ð»ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ ÑˆÐºÐ°Ð»Ñ‹ Ð
´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÐŸÐ°Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ€Ð°Ð»ÑŒ (Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾-
Ð·ÐµÐ»Ñ‘Ð½Ñ‹Ð¹) ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸ (Ð—ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹)
ÐŸÑ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð° ÐœÐ½Ð¾Ð³Ð¸Ðµ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¸ Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
Ð½Ð°- Ð·Ñ‹Ð²Ð°ÑŽÑ‚Ñ□Ñ□ Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸, Ð¿Ð¾Ñ‚Ð¾Ð¼Ñƒ Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ð²
Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ðµ Ð²Ñ□Ñ‚Ñ€ÐµÑ‡Ð°ÑŽÑ‚Ñ□Ñ□ Ñ‚Ð°ÐºÐ¾Ð³Ð¾ Ð¶Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ…
Ð²Ð¾Ñ□, Ñ‚Ñ€Ð°Ð²Ð°, Ð»Ð°Ð¹Ð¼, Ñ□Ð±Ð»Ð¾ÐºÐ¾ Ð¸Ð»Ð¸ Ð¼Ñ□Ñ‚Ð°. Ð’Ñ□Ðµ Ñ□Ñ‚Ð¸
Ð½Ð°Ð·Ð²Ð°Ð½Ð¸Ñ□, Ð¾Ð¿Ñ€ÐµÐ´ÐµÐ»Ñ□ÑŽ- Ñ‰Ð¸Ðµ Ñ□ÑƒÑ‚ÑŒ ÐºÑ€Ð°Ñ□ÐºÐ¸,
Ð¼Ð¾Ð³ÑƒÑ‚ Ð±Ñ‹Ñ‚ÑŒ Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼Ðµ- Ð½ÐµÐ½Ñ‹ Ðº Ð±Ð¾Ð»ÑŒÑˆÐ¾Ð¼Ñƒ
Ñ€Ð°Ð·Ð½Ð¾Ð¾Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·Ð¸ÑŽ Ð¾Ñ‚Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð² Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ð¾Ð³Ð¾.
Ð£Ñ□Ñ‚Ð¾Ð¹Ñ‡Ð¸Ð²Ñ‹Ð¹ Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ñ‚Ñ€Ð°Ð´Ð¸Ñ†Ð¸Ð¾Ð½Ð½Ð¾
Ð°Ñ□- Ñ□Ð¾Ñ†Ð¸Ð¸Ñ€ÑƒÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Ñ□ Ð¾Ñ‚ÐºÑ€Ñ‹Ñ‚Ñ‹Ð¼ Ð²Ð¾Ð·Ð´ÑƒÑ…Ð¾Ð¼ Ð¸
Ñ□Ð°Ð´Ð¾Ð¼, Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹ â€“ Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ð²Ñ□ÐµÐ³Ð¾ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ð
´Ð°ÐµÑ‚ Ð¶Ð¸Ð·Ð½ÑŒ. Ð—ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹ â€“ Ñ□Ñ‚Ð¾ Ñ‚Ð°Ðº- Ð¶Ðµ
Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ð»ÑƒÐ³Ð¾Ð² Ð¸ Ñ…Ð¾Ð»Ð¼Ð¾Ð², Ð¸ Ð»ÑƒÑ‡ÑˆÐµ Ð²Ñ□ÐµÐ³Ð¾ Ð¾Ð½
Ð¾Ð±Ð½Ð°Ñ€ÑƒÐ¶Ð¸Ð²Ð°ÐµÑ‚ Ñ□Ð²Ð¾Ð¸ Ñ□Ð²Ð¾Ð¹- Ñ□Ñ‚Ð²Ð°, ÐºÐ¾Ð³Ð´Ð°
Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°ÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Ñ□ Ð¿ÐµÑ□Ñ‚Ñ€Ñ‹Ð¼Ð¸ (Ð½ÐµÐ¾Ð´Ð½Ð¾Ñ€Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸)
Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸ Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸
Ð¶Ð¶ÐµÐ½Ð¾Ð¹ Ñ□Ð¸Ðµ- Ð½Ñ‹ Ð¸Ð»Ð¸ ÑƒÐ¼Ð±Ñ€Ñ‹ Ð¸ Ð½ÐµÐ±ÐµÑ□Ð½Ð¾-
Ð³Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ñ‹Ð¼. Ð¥ÑƒÐ´Ð¾Ð¶Ð½Ð¸Ðº-Ð¾Ñ„Ð¾Ñ€Ð¼Ð¸Ñ‚ÐµÐ»Ñ‚ Ñ‡Ð°Ñ□Ñ‚Ð¾ Ð¸Ñ□-

Ð¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·ÑƒÑŽÑ‚ Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹ Ð´Ð»Ñ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ Ð¿Ð¾Ð
´Ñ‡ÐµÑ€ÐºÐ½ÑƒÑ‚ÑŒ Ð¼Ð¾Ñ‚Ð¸Ð²Ñ‹ Ð²Ð¾Ð·Ñ€Ð¾Ð¶Ð´ÐµÐ½Ð¸Ñ,
Ð¾Ð±Ð½Ð¾Ð²Ð»ÐµÐ½Ð¸Ñ, Ñ
ÐºÐ¾Ð»Ð¾Ð³Ð¸Ð¸. Ð—ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹ ÐºÐ°Ðº
Ð²Ñ‚Ð¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚, Ñ…Ð¾Ñ€Ð¾ÑˆÐ¾ ÑÐ¾Ñ‡Ðµ- Ñ‚Ð°ÐµÑ‚ÑÑ Ñ
Ñ‚ÐµÐ¼Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°Ð¼Ð¸, Ð¸Ð· ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ñ… Ð¾Ð½ Ð¿Ð¾Ð»ÑƒÑ‡Ð°ÐµÑ‚ÑÑ
Ð¿ÑƒÑ‚ÐµÐ¼ ÑÐ¼ÐµÑˆÐµÐ½Ð¸Ñ â€“ ÑÐ¸Ð½Ð¸Ð¼ Ð¸ Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ñ‹Ð¼, Ð² Ñ‚Ð¾
Ð²Ñ€ÐµÐ¼Ñ ÐºÐ°Ðº Ñ‚ÐµÐ¼Ð½Ð¾-Ñ€Ð¾Ð·Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚, ÑÐ³Ð¾Ð´,
Ð²Ð·ÑÑ‚Ñ‹Ð¹ Ð² Ð¿Ñ€Ð¸Ð³Ð»ÑƒÑˆÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ñ…,
Ð²Ð½ÐµÑÐµÑ‚ ÑÐ²Ð¾ÑŽ Â«Ð¸Ð·ÑŽÐ¼Ð¸Ð½ÐºÑƒÂ» Ð² ÐºÐ¾Ð¼Ð¿Ð¾Ð·Ð¸Ñ†Ð¸ÑŽ. Ð“Ð
´Ðµ Ð±Ñ‹ Ð½Ð¸ Ð¸ÑÐ¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·Ð¾Ð²Ð°Ð»ÑÑ Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹, Ð¾Ð½ Ð²ÐµÐ·- Ð
´Ðµ Ð±ÑƒÐ´ÐµÑ‚, Ð½ÐµÑÑ‚Ð¸ Ð½Ð°ÑÑ‚Ñ€Ð¾ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð¿Ð¾ÐºÐ¾Ñ Ð¸
Ð±ÐµÐ·Ð¼ÑÑ‚ÐµÐ¶Ð½Ð¾ÑÑ‚Ð¸, Ð¸Ð¼ÐµÐ½Ð½Ð¾ Ð¿Ð¾Ñ
Ñ‚Ð¾Ð¼Ñƒ ÐµÐ³Ð¾ Ð»ÑŽÐ±ÑÑ‚,
Ð¸ÑÐ¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·Ð¾Ð²Ð°Ñ‚ÑŒ Ð´Ð»Ñ Ð¸Ð½Ñ‚Ðµ- Ñ€ÑŒÐµÑ€Ð¾Ð² Ñ„Ð¸Ñ€Ð¼,
Ð±Ð¸Ð±Ð»Ð¸Ð¾Ñ‚ÐµÐº Ð¸ Ñ€Ð°Ð±Ð¾Ñ‡Ð¸Ñ… ÐºÐ°Ð±Ð¸Ð½ÐµÑ‚Ð¾Ð². Â© Sandra
Wavrick/Photonica Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° ÐŸÑ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð°
(Ð·ÐµÐ»Ñ‘Ð½Ñ‹Ð¹) Ð¼Ð¾Ð½Ð¾Ñ…Ñ€Ð¾Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑÐºÐ°Ñ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð°
Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð±Ð»Ð¸Ð·ÐºÐ¸Ñ…
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÐŸÑ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð° (Ð·ÐµÐ»Ñ‘Ð½Ñ‹Ð¹) ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹
Ð´Ð¸ÑÐ³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ð¸ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ…
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ€Ð°Ð·Ð±Ð¸Ð²Ð°Ð½Ð¸Ðµ
ÑˆÐºÐ°Ð»Ñ‹ Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÐŸÑ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð°
(Ð·ÐµÐ»Ñ‘Ð½Ñ‹Ð¹) ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾ÑÑ‚Ð¸ (Ð¡Ð¸Ð½Ðµ-
Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹) Ð§Ð¸ÑÑ‚Ð¾Ñ‚Ð° Ð“Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ð¾Ð¹ Ð»Ð¸ Ñ
Ñ‚Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚,?
Ð˜Ð»Ð¸, Ð¼Ð¾- Ð¶ÐµÑ‚, Ð±Ñ‹Ñ‚ÑŒ, Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹? Ð§Ð¸ÑÑ‚Ñ‹Ðµ ÑÐ¸Ð½Ðµ-
Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ðµ Ñ‚Ð¾Ð½Ð° ÑÐ¾Ð·Ð´Ð°ÑŽÑ‚, ÐµÐ´Ð²Ð° ÑƒÐ»Ð¾- Ð²Ð¸Ð¼ÑƒÑŽ
Ð³Ñ€Ð°Ð½Ð¸Ñ†Ñƒ Ð¼ÐµÐ¶Ð´Ñƒ ÑÐ¸Ð½Ð¸Ð¼ Ð¸ Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°Ð¼Ð¸
â€“ Ñ‚Ð¾Ñ‡Ð½Ð¾ Ñ‚Ð°Ðº Ð¶Ðµ Ð¾Ð½Ð¸ Ð¾Ñ‚Ñ€Ð°Ð¶Ð°ÑŽÑ‚, Ñ‚Ð¾Ð½ Ð»Ð¸Ð½Ð¸Ð¸
Ð³Ð¾Ñ€Ð¸Ð·Ð¾Ð½Ñ‚Ð° Ð¼ÐµÐ¶Ð´Ñƒ ÑÐ¿Ð¾ÐºÐ¾Ð¹Ð½Ñ‹Ð¼ Ð¾Ð·ÐµÑ€Ð¾Ð¼ Ð¸ Ð±ÐµÐ·-
Ð¾Ð±Ð»Ð°Ñ‡Ð½Ñ‹Ð¼ Ð½ÐµÐ±Ð¾Ð¼. Ð§Ð¸ÑÑ‚Ñ‹Ð¹, Ð¿Ñ€Ð¸Ð½Ð°Ð´- Ð»ÐµÐ¶Ð°Ñ‰Ð¸Ð¹
ÑÑ‚Ð¸Ñ…Ð¸Ð¸ Ð²Ð¾Ð´Ñ‹, Ñ
Ñ‚Ð¾Ñ‚, Ð°ÐºÐ²Ð°- Ð¼Ð°Ñ€Ð¸Ð½Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹
Ñ†Ð²ÐµÑ‚, Ð±ÐµÑ€ÐµÑ‚ÑÑ Ð·Ð° Ð¾ÑÐ½Ð¾Ð²Ñƒ Ð¼Ð½Ð¾Ð³Ð¸Ð¼Ð¸ Ñ…ÑƒÐ
´Ð¾Ð¶Ð½Ð¸ÐºÐ°Ð¼Ð¸ Ð¿Ñ€Ð¸ ÑÐ¾Ð·Ð´Ð°- Ð½Ð¸Ð¸ Ð¼Ð¾Ñ€ÑÐºÐ¸Ñ…
Ð¿ÐµÐ¹Ð·Ð°Ð¶ÐµÐ¹. Ð•ÑÐ»Ð¸ Ð²Ñ‹ Ñ…Ð¾- Ñ‚Ð¸Ñ‚Ðµ Ð¿ÐµÑ€ÐµÐ´Ð°Ñ‚ÑŒ
Ñ†Ð²ÐµÑ‚, Ð¼Ð¾Ñ€ÑÐºÐ¾Ð³Ð¾ Ð±ÐµÑ€ÐµÐ³Ð°, Ð»ÑƒÑ‡ÑˆÐµ Ð²ÑÐµÐ³Ð¾
ÑÐ¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ñ‚ÑŒ ÐµÐ³Ð¾ Ñ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð¼ ÑˆÐµÑ€Ð¾Ñ…Ð¾Ð²Ð°Ñ‚Ñ‹Ñ…
Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ñ… Ð¿Ð¾Ð²ÐµÑ€Ñ…Ð½Ð¾- ÑÑ‚ÐµÐ¹ â€“
ÑÐ¿Ð»Ð°Ð²Ð»ÑÐµÐ¼Ð¾Ð³Ð¾ Ð»ÐµÑÐ°, Ð±ÐµÑ‡ÐµÐ²ÐºÐ¸, Ð³Ñ€ÑƒÐ±Ð¾Ð³Ð¾ Ð
´Ð¶ÑƒÑ‚Ð°. Ð§Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ Ð¿Ñ€Ð¸ Ð¿Ð»Ð°Ð½Ð¸Ñ€Ð¾- Ð²Ð°Ð½Ð¸Ð¸
Ð¸Ð½Ñ‚ÐµÑ€ÑŒÐµÑ€Ð° Ð¸Ð·Ð±ÐµÐ¶Ð°Ñ‚ÑŒ ÑÐ¸Ñ‚ÑƒÐ°- Ñ†Ð¸Ð¸, ÐºÐ¾Ð³Ð´Ð°
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¼Ð¾Ñ€ÑÐºÐ¾Ð³Ð¾ Ð±ÐµÑ€ÐµÐ³Ð° ÑÑ‚Ð°Ð½Ð¾Ð²ÑÑ‚ÑÑ
ÑˆÑ‚Ð°Ð¼Ð¿Ð°Ð¼Ð¸ Ð¿Ñ€Ð¸ Ð¿ÐµÑ€ÐµÐ´Ð°Ñ‡Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¼Ð¾Ñ€ÑÐºÐ¾Ð³Ð¾
Ð¿Ð¾Ð±ÐµÑ€ÐµÐ¶ÑŒÑ, Ð¼Ð¾Ð¶- Ð½Ð¾ Ð¿Ð¾Ð¿Ñ€Ð¾Ð±Ð¾Ð²Ð°Ñ‚ÑŒ ÑÐ¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ñ‚ÑŒ
Ð¾ÑÐ½Ð¾Ð²Ð½Ð¾Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚, Ñ Ñ‡ÐµÐ¼-Ñ‚Ð¾ Ð½ÐµÐ¾Ð±Ñ‹Ñ‡Ð½Ñ‹Ð¼ Ð²Ñ€Ð¾Ð´Ðµ
Ð¼Ðµ- Ñ‚Ð°Ð»Ð»Ð¾Ð², Ñ„ÑƒÑ‚ÑƒÑ€Ð¸ÑÑ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑÐºÐ¾Ð³Ð¾ Ð¿Ð»Ð°ÑÑ‚Ð¸ÐºÐ° Ð¸
Ñ‚ÐµÐ¼Ð½Ð¾-Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ñ… Ñ‚Ð¾Ð½Ð¾Ð². Â© Mitsugu Inada/Photonica
Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð§Ð¸ÑÑ‚Ð¾Ñ‚Ð° (ÑÐ¸Ð½Ðµ-
Ð·ÐµÐ»Ñ‘Ð½Ñ‹Ð¹) Ð¼Ð¾Ð½Ð¾Ñ…Ñ€Ð¾Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑÐºÐ°Ñ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð°
Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð±Ð»Ð¸Ð·ÐºÐ¸Ñ…
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð§Ð¸ÑÑ‚Ð¾Ñ‚Ð° (ÑÐ¸Ð½Ðµ-Ð·ÐµÐ»Ñ‘Ð½Ñ‹Ð¹) ÑˆÐºÐ°Ð»Ð°
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð´Ð¸ÑÐ³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ð¸ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð
´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ€Ð°Ð·Ð±Ð¸Ð²Ð°Ð½Ð¸Ðµ ÑˆÐºÐ°Ð»Ñ‹ Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ…
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð§Ð¸ÑÑ‚Ð¾Ñ‚Ð° (ÑÐ¸Ð½Ðµ-Ð·ÐµÐ»Ñ‘Ð½Ñ‹Ð¹) ÑˆÐºÐ°Ð»Ð°
Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾ÑÑ‚Ð¸ (Ð“Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ð¾Ð¹) ÐŸÑ€Ð¾Ñ‡Ð½Ð¾ÑÑ‚ÑŒ
Ð“Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ð¾Ð¹, ÑÐ¾Ð·Ð´Ð°ÑŽÑ‰Ð¸Ð¹ Ñ‡ÑƒÐ²ÑÑ‚Ð²Ð¾ Ð¿Ñ€Ð¾Ñ‡- Ð½Ð¾ÑÑ‚Ð¸ Ð¸
Ð²ÑÐµÐ»ÑÑŽÑ‰Ð¸Ð¹ Ð´Ð¾Ð²ÐµÑ€Ð¸Ðµ â€“ ÑÐ°- Ð¼Ñ‹Ð¹ Ñ‚Ñ€Ð°Ð
´Ð¸Ñ†Ð¸Ð¾Ð½Ð½Ñ‹Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚,. Ð“Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ð¾Ð¹ Ð¸ ÑÐ¸Ð½Ð¸Ð¹ â€“
Ð±ÐµÑÐºÐ¾Ð½ÐµÑ‡ÐµÐ½, Ñƒ Ð½ÐµÐ³Ð¾ Ð½ÐµÑ‚, Ð²Ð¾Ð·- Ñ€Ð°ÑÑ‚Ð°, Ð¾Ð½
Ð¿ÐµÑ€ÐµÐ´Ð°ÐµÑ‚, Ð¾Ñ‰ÑƒÑ‰ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ñ‚Ð²ÐµÑ€- Ð´Ð¾ÑÑ‚Ð¸, Ð½Ð¸ÐºÐ¾Ð³Ð´Ð°

Ð½Ðµ Ð²Ñ‹Ñ…Ð¾Ð´Ð¸Ñ‚ Ð¸Ð· Ð¼Ð¾Ð´Ñ‹. ÐÑ‚Ð¾Ñ‚ Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ð¾Ñ‚ Ð³Ð»ÑƒÐ±Ð¾ÐºÐ¸Ñ…
Ñ‚Ð¾Ð½Ð¾Ð² Ð¸Ð½Ð´Ð¸Ð³Ð¾ Ð´Ð¾ Ð³Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¼Ð¾Ñ€Ñ□
ÐµÑ□Ñ‚ÑŒ ÐºÐ°Ðº Ð² Ð´Ð¾Ð¼Ðµ Ð½Ð° Ð¼Ð°Ñ‚ÐµÑ€Ð¸ÐºÐµ, Ñ‚Ð°Ðº Ð¸ Ð² Ð´Ð¾Ð¼Ðµ
Ñƒ Ð¼Ð¾Ñ€Ñ□. Ð“Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ð¾Ð¹ â€“ Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ñ□Ñ‚Ð¾Ð¹ÐºÐ¾Ñ□Ñ‚Ð¸.
Ð¡ Ð³Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ñ‹Ð¼ Ð¸ Ñ□Ð¸Ð½Ð¸Ð¼ Ñ□Ð»Ð¾Ð¶Ð½Ð¾ Ð¾ÑˆÐ¸Ð±Ð¸Ñ‚ÑŒ- Ñ□Ñ□. Ð
¢Ð¾Ð½Ð°Ð»ÑŒÐ½Ñ‹Ðµ Ñ€Ð°Ð·Ð½Ð¾Ð²Ð¸Ð´Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸ Ð³Ð¾Ð»Ñƒ- Ð±Ð¾Ð³Ð¾
Ð¿Ð¾Ñ‡Ñ‚Ð¸ Ð²Ñ□ÐµÐ³Ð´Ð° Ñ…Ð¾Ñ€Ð¾ÑˆÐ¾ Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°- ÑŽÑ‚Ñ□Ñ□,
Ð¿Ð¾Ñ□Ð¼Ð¾Ñ‚Ñ€Ð¸Ñ‚Ðµ Ñ…Ð¾Ñ‚Ñ□ Ð±Ñ‹ Ð½Ð° Ñ□Ð²Ð¾Ð¸ Ð»ÑŽÐ±Ð¸Ð¼Ñ‹Ðµ Ð
´Ð¶Ð¸Ð½Ñ□Ñ‹. Ð“Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ð¾Ð¹ Ð³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾- Ð½Ð¸Ñ‡Ð½Ð¾ Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°ÐµÑ‚Ñ□Ñ□
Ñ□ Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸, Ð½Ð°Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÑ€ Ñ□ Ñ□ÐºÑ€ÑŽ,
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð¼ Ð±ÑƒÐ¹Ð²Ð¾Ð»Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ ÐºÐ¾Ð¶Ð¸, ÐºÑ€ÐµÐ¼Ð¾Ð²Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ‚Ð¾-
Ð½Ð°Ð¼Ð¸, Ð¸ Ñ□Ñ‚Ð¾Ð»ÑŒ Ð¶Ðµ ÑƒÐ´Ð°Ñ‡Ð½Ð¾ Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°ÐµÑ‚- Ñ□Ñ□ Ñ□
Ñ‚ÐµÐ¼Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°Ð¼Ð¸, Ð½Ð°Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÑ€ Ñ□ ÑˆÐ¾ÐºÐ¾Ð»Ð°Ð´Ð½Ð¾-
ÐºÐ¾Ñ€Ð¸Ñ‡Ð½ÐµÐ²Ñ‹Ð¼ Ð¸ Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ñ‹Ð¼ Ñ□ÐµÑ€Ñ‹Ð¼
Ð¼ÐµÑ‚Ð°Ð»Ð»Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ¾Ð¹ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñ‹. Â© Robbins Cocations/Photonica
Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° ÐŸÑ€Ð¾Ñ‡Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ (Ð³Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ð¾Ð¹)
Ð¼Ð¾Ð½Ð¾Ñ…Ñ€Ð¾Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ°Ñ□ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð±Ð»Ð¸Ð·ÐºÐ¸Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÐŸÑ€Ð¾Ñ‡Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ
(Ð³Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ð¾Ð¹) ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð´Ð¸Ñ□Ð³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ð¸
ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²
Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ€Ð°Ð·Ð±Ð¸Ð²Ð°Ð½Ð¸Ðµ ÑˆÐºÐ°Ð»Ñ‹ Ð
´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÐŸÑ€Ð¾Ñ‡Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ
(Ð³Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ð¾Ð¹) ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸
(Ð¤Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹) Ð¡Ð¾Ð·ÐµÑ€Ñ†Ð°Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ Ð§Ð¸Ñ□Ñ‚Ñ‹Ðµ
Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° ÐºÐ°Ð¼Ð½ÐµÐ¹, Ð¿ÐµÑ□ÐºÐ°, Ð¼Ð¾Ñ€Ñ□ Ð¸
Ð½ÐµÐ±Ð° Ð½Ð°Ñ□Ñ‚Ñ€Ð°Ð¸Ð²Ð°ÑŽÑ‚, Ð½Ð° Ð¿Ð¾ÐºÐ¾Ð¹ Ð¸
Ñ□Ð¾Ð·ÐµÑ€Ñ†Ð°Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ. ÐŸÑ€ÐµÐ´- Ñ□Ñ‚Ð°Ð²ÑŒÑ‚Ðµ Ñ□ÐµÐ±Ðµ
Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ðµ Ð»ÑƒÑ‡Ð¸ Ñ□Ð¾Ð»- Ð½ÐµÑ‡Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ñ□Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð²
ÐºÐ¾Ð½Ñ†Ðµ Ð´Ð½Ñ□, Ð¿Ð°Ð´Ð°ÑŽ- Ñ‰Ð¸Ðµ Ð½Ð° Ñ‚Ð¾Ð»ÑŒÐºÐ¾ Ñ‡Ñ‚Ð¾
Ð²Ñ‹Ð¿Ð°Ð²ÑˆÐ¸Ð¹ Ñ□Ð½ÐµÐ³. Ð’Ñ□Ð¿Ð¾Ð¼Ð½Ð¸Ñ‚Ðµ Ñ□Ð¿Ð¾ÐºÐ¾Ð¹Ð½Ñ‹Ðµ, Ñ…
Ð¾Ð»Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¿Ð»Ð°Ð½ÐµÑ‚Ñ‹, Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹
Ð¿Ð¾Ð¿Ñ€Ð¾Ð±Ð¾Ð²Ð°Ñ‚ÑŒ Ð²Ð¾Ñ□Ñ□Ð¾Ð·Ð´Ð°Ñ‚ÑŒ Ð°Ñ‚Ð¼Ð¾Ñ□Ñ„ÐµÑ€Ñƒ Ñ†ÐµÐ»Ð¾Ð¹
Ð¶Ð¸Ð·- Ð½Ð¸, Ð²Ñ□ÐµÐ¾Ñ…Ð²Ð°Ñ‚Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ð²Ð·Ð³Ð»Ñ□Ð´Ð° Ð½Ð° Ð¶Ð¸Ð·Ð½ÑŒ.
Ð›Ð°Ð²Ð°Ð½Ð´Ð¾Ð²Ñ‹Ðµ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¸ Ñ□ÐºÐ°Ð» Ð¸ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¸
Ñ□Ñ‚ÐµÐºÐ»Ð° Ð¸ Ð¼ÐµÑ‚Ð°Ð»Ð»Ð° Ñ…Ð¾Ñ€Ð¾ÑˆÐ¾ Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°ÑŽÑ‚- Ñ□Ñ□ Ñ□ Ð
´Ñ€ÑƒÐ³Ð¸Ð¼Ð¸ ÐµÑ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°- Ð¼Ð¸,
Ð½Ð°Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÑ€ Ñ□ Ð¸Ð·Ð²ÐµÑ□Ñ‚ÐºÐ¾Ð²Ð¾-Ñ‡ÐµÑ€Ð½Ð¾- Ñ□ÐµÑ€Ñ‹Ð¼Ð¸
Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸, Ð½ÐµÐ¿Ñ€Ð¾Ð·Ñ€Ð°Ñ‡Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸, Ð¿Ñ€Ð¸Ð³Ð»ÑƒÑˆÐµÐ½Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸
Ð±ÐµÐ»Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸ Ð¸ Ñ□Ð°Ð¼Ñ‹Ð¼Ð¸ Ð½Ð°Ñ□Ñ‹Ñ‰ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸
Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸ Ñ‡ÐµÑ€Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°. ÐŸÐ¾Ð¿Ñ€Ð¾Ð±ÑƒÐ¹Ñ‚Ðµ Ñ‹Ð½ÐµÑ□Ñ‚Ð¸
Ñ□Ð½ÐµÑ€Ð³Ð¸ÑŽ Ñ□ÐµÐ³Ð¾Ð´Ð½Ñ□ÑˆÐ½ÐµÐ³Ð¾ Ð´Ð½Ñ□ Ð² Ñ□Ñ‚Ñƒ Ð²ÐµÑ‡Ð½ÑƒÑŽ
ÐºÐ¾Ð¼Ð±Ð¸Ð½Ð°Ñ†Ð¸ÑŽ Ñ□ Ð¿Ð¾Ð¼Ð¾Ñ‰ÑŒÑŽ Ð·Ð½Ð°Ñ‡Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ð
´Ð¾Ð±Ð°Ð²Ð»ÐµÐ½Ð¸Ð¹ Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð»Ð°Ð¹Ð¼Ð°,
Ñ□Ð½Ñ‚Ð°Ñ€Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¸Ð»Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ‡Ð¸Ñ□Ñ‚Ð¾Ð¹ Ð²Ð¾Ð´Ñ‹,
Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ð·Ð°Ñ□Ñ‚Ð°- Ð²Ð¸Ñ‚ Ð·Ð°Ð¸Ð³Ñ€Ð°Ñ‚ÑŒ Ð²Ñ□ÑŽ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñƒ. Â©
mm/Photonica Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
Ð¡Ð¾Ð·ÐµÑ€Ñ†Ð°Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ (Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹) Ð¼Ð¾Ð½Ð¾Ñ…
Ñ€Ð¾Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ°Ñ□ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð±Ð»Ð¸Ð·ÐºÐ¸Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð¡Ð¾Ð·ÐµÑ€Ñ†Ð°Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ
(Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹) ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð´Ð¸Ñ□Ð³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ð¸
ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²
Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ€Ð°Ð·Ð±Ð¸Ð²Ð°Ð½Ð¸Ðµ ÑˆÐºÐ°Ð»Ñ‹ Ð
´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð¡Ð¾Ð·ÐµÑ€Ñ†Ð°Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ
(Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹) ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸
(ÐšÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾- Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹) ÐŸÐ¾ÐºÐ¾Ð¹ ÐŸÑ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ðµ
Ð³Ð¾Ñ€Ð½Ñ‹Ðµ Ñ€Ð°Ð¹Ð¾Ð½Ñ‹ Ð¿Ð»Ð°Ð½Ðµ- Ñ‚Ñ‹ Ð¿Ð¾Ð´Ð½Ð¸Ð¼Ð°ÑŽÑ‚Ñ□Ñ□
Ð²Ð²Ñ‹Ñ□ÑŒ Ð´Ð¾ Ð²Ð¾Ð»ÑˆÐµÐ±- Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ñ€Ð°Ð·Ð½Ð¾Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·Ð¸Ñ□ Ñ„Ð¾Ñ€Ð¼
Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð², Ð¿ÐµÑ€ÐµÐ´Ð°ÑŽÑ‰Ð¸Ñ… Ð½Ð°Ñ□Ñ‚Ñ€Ð¾ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð¿Ð¾ÐºÐ¾Ñ□.
ÐºÐ°Ðº Ð´Ð½ÐµÐ²Ð½Ð¾Ð¹ Ñ□Ð²ÐµÑ‚, Ð¸Ð·Ð¼ÐµÐ½Ñ□ÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Ð¸ Ð¸Ð³Ñ€Ð°ÐµÑ‚;

Ñ‚Ð¾Ñ‡Ð½Ð¾ Ñ‚Ð°ÐºÐ¸Ð¼ Ð¶Ðµ Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·Ð¾Ð¼ Ñ□ÐºÐ»Ð¾Ð½Ñ‹ Ð¸ Ð²ÐµÑ€ÑˆÐ¸Ð½Ñ‹ Ð³Ð¾Ñ€ Ñ□Ð²Ð»Ñ□ÑŽÑ‚ Ñ†ÐµÐ»Ñ‹Ð¹ Ñ□Ð¿ÐµÐºÑ‚Ñ€ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð², ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ð¿Ð¾Ð´Ð´ÐµÑ€Ð¶Ð¸Ð²Ð°- ÑŽÑ‚ Ð½Ð°Ñ□Ñ‚Ñ€Ð¾ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð¿Ð¾ÐºÐ¾Ñ□. ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ñ‹Ð¹ Ð² Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ð¸ Ñ□ Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ð¼ Ñ□Ð¾Ð·Ð´Ð°ÐµÑ‚ Ð¸Ð½Ñ‚ÐµÑ€ÐµÑ□Ð½ÑƒÑŽ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñƒ, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ð°Ñ□ Ð½Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¼ ÐºÑ€ÑƒÐ³Ðµ Ð½Ð°Ð·Ñ‹Ð²Ð°ÐµÑ‚Ñ□Ñ□ ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾- Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ð¼ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð¼. Ð“Ð»ÑƒÐ±Ð¶Ðµ, Ñ‡ÐµÐ¼ Ñ„ÑƒÐºÑ□Ð¸Ð½, Ð¸ ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½ÐµÐµ Ñ□Ð¸Ð»Ð¸Ð²Ñ‹, Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ‚ Ð¿Ñ€Ð¸Ñ‚Ñ□Ð³Ð°Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ð¹ Ð°Ð¼ÐµÑ‚Ð¸Ñ□Ñ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚, Ð¼Ð¾Ð¶Ð½Ð¾ Ñ□Ð¼Ñ□Ð³Ñ‡Ð¸Ñ‚ÑŒ Ð´Ð¾ Ñ□Ð¸Ñ€ÐµÐ½ÐµÐ²Ð¾Ð³Ð¾ Ð¸Ð»Ð¸ ÑƒÑ□Ð¸Ð»Ð¸Ñ‚ÑŒ Ð´Ð¾ Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾- Ñ‡ÐµÑ€Ð½Ð¾Ð³Ð¾. ÐŸÐ¾- Ð¼Ð¸Ð¼Ð¾ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾ Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ‚ Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ð¿Ñ€Ð¸Ð½Ð¾Ñ□Ð¸Ñ‚ Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ð¾, Ð¾Ð½ ÐµÑ‰Ðµ Ð¸ ÑƒÑ□Ð¿Ð¾ÐºÐ°Ð¸Ð²Ð°ÐµÑ‚, Ñ□Ð¾Ð·- Ð´Ð°ÐµÑ‚ Ð¾Ñ‰ÑƒÑ‰ÐµÐ½Ð¸Ðµ ÐºÐ¾Ð¼Ñ„Ð¾Ñ€Ñ‚Ð°, Ñ□ Ð»ÐµÐ³- ÐºÐ¸Ð¼ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð¼ ÑƒÐ ´Ð¾Ð²Ð¾Ð»ÑŒÑ□Ñ‚Ð²Ð¸Ñ□ Ð²Ñ□Ñ□ Ñ□Ñ‚Ð° Ñ□Ð»Ð¾Ð¶Ð½Ð°Ñ□ Ñ□Ð¼ÐµÑ□ÑŒ Ñ□Ñ€Ð°Ð·Ñƒ, Ð² Ð¾Ð´Ð¸Ð½ Ð¼Ð¾- Ð¼ÐµÐ½Ñ‚, Ð²Ð¾Ð·Ð½Ð¸ÐºÐ°ÐµÑ‚, Ð¿Ñ€ÐµÐ´ Ð³Ð»Ð°Ð·Ð°Ð¼Ð¸. Ð¥Ð¾Ñ‚Ñ□ Ð¿ÑƒÑ€Ð¿ÑƒÑ€Ð½Ñ‹Ð¹ Ñ‚Ñ€Ð°Ð´Ð¸Ñ†Ð¸Ð¾Ð½Ð½Ð¾ Ñ□Ñ‡Ð¸Ñ‚Ð°ÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Ñ†Ð°Ñ€Ñ□ÐºÐ¸Ð¼, Ð¾Ð½ Ñ…Ð¾Ñ€Ð¾Ñˆ Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°ÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Ñ□ ÑˆÐ¸Ñ€Ð¾ÐºÐ¸Ð¼ ÐºÑ€ÑƒÐ³Ð¾Ð¼ Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²Ðµ- Ñ‚Ð¾Ð², Ð²Ñ‹Ð±Ñ€Ð°Ð½Ð½Ñ‹Ñ… Ð¸Ð· Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ñ‹, Ð² ÐºÐ¾- Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ð²Ñ…Ð¾Ð´Ñ□Ñ‚, Ð³Ð»ÑƒÐ±Ð¸Ð½Ð½Ð¾- Ñ□ÐµÑ€Ñ‹Ðµ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°, Ñ†Ð²ÐµÑ‚, Ñ□Ñ‚Ð°Ñ€Ð¾Ð³Ð¾ Ð´ÐµÑ€ÐµÐ²Ð°, Ñ…Ð¾Ð»Ð¾Ð ´Ð½Ñ‹Ðµ Ð¼ÐµÑ‚Ð°Ð»Ð»Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ¸Ðµ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¸ Ð¸ Ñ‚ÐµÐ¼Ð½Ð¾- Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ðµ Ñ‚Ð¾Ð½Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ□Ð¾Ñ□Ð½Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ñ…Ð²Ð¾Ð¸. Â© Shogoro/Photonica Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ„ ÐŸÐ¾ÐºÐ¾Ð¹ (ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾-Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹) Ð¼Ð¾Ð½Ð¾Ñ…Ñ€Ð¾Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ°Ñ□ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð±Ð»Ð¸Ð·ÐºÐ¸Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÐŸÐ¾ÐºÐ¾Ð¹ (ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾-Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹) ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð´Ð¸Ñ□Ð³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ð¸ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð ´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ€Ð°Ð·Ð±Ð¸Ð²Ð°Ð½Ð¸Ðµ ÑˆÐºÐ°Ð»Ñ‹ Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÐŸÐ¾ÐºÐ¾Ð¹ (ÐºÑ€Ð°Ñ□Ð½Ð¾-Ñ„Ð¸Ð¾Ð»ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹) ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¸ (Ð¥Ð¾Ð»Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ð¹ Ñ□ÐµÑ€Ñ‹Ð¹ + Ñ…Ð¾Ð»Ð¾Ð ´Ð½Ñ‹Ð¹ Ñ‡ÐµÑ€Ð½Ñ‹Ð¹) Ð¢ÐµÐ¼Ð½Ð¾Ñ‚Ð° Ð¢Ð¾Ð½Ð° Ñ…Ð¾Ð»Ð¾Ð´Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ñ□ÐµÑ€Ð¾Ð³Ð¾ Ð¸ Ñ‡ÐµÑ€Ð½Ð¾- Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð¸Ð·Ð¼ÐµÐ½Ñ□ÑŽÑ‚, Ð²Ñ□ÑŽ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñƒ Ñ□Ð¼Ð¾Ñ†Ð¸Ð¹. ÐžÑ‚ ÑƒÑ‚Ð¸Ð»Ð¸Ñ‚Ð°Ñ€Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ð´Ð¾ Ð·Ð»Ð¾Ð³Ð¾ Ð¸ Ñ□Ð»ÐµÐ³Ð°Ð½Ñ‚Ð½Ð¾Ð³Ð¾, ÐºÐ°Ðº Ð½Ð¾Ñ‡ÑŒ, Ñ…Ð¾Ð»Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ðµ Ñ‡ÐµÑ€Ð½Ñ‹Ðµ Ð¸ Ñ□ÐµÑ€Ñ‹Ðµ Ñ‚Ð¾Ð½Ð° Ð¸Ð¼ÐµÑŽÑ‚ Ð³Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ð¾- Ð²Ð°Ñ‚Ñ‹Ð¹ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½Ð¾Ðº. Ð¦Ð²ÐµÑ‚Ð°, Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÐ½Ñ□ÐµÐ¼Ñ‹Ðµ Ð² Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ð¸ Ñ□ Ñ‡ÐµÑ€Ð½Ñ‹Ð¼ (Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÑ€Ñ‹ Ð¼Ð¾Ð¶Ð½Ð¾ Ð²Ð¸Ð´ÐµÑ‚ÑŒ Ð² Ð½Ð°Ñ€Ð¾Ð ´Ð½Ð¾Ð¼ Ð¸Ñ□ÐºÑƒÑ□- Ñ□Ñ‚Ð²Ðµ Ð¸Ð»Ð¸ Ð² Ð°Ð·Ð¸Ð°Ñ‚Ñ□ÐºÐ¾Ð¹ Ð¶Ð¸Ð²Ð¾Ð¿Ð¸Ñ□Ð¸), Ð²Ð¸Ð·ÑƒÐ°Ð»ÑŒÐ½Ð¾ Ð²Ð¾Ñ□Ð¿Ñ€Ð¸Ð½Ð¸Ð¼Ð°ÑŽÑ‚Ñ□Ñ□ ÐºÐ°Ðº Â«ÑƒÐ´Ð°Ñ€Â» Ð¸Ð·-Ð·Ð° Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ð½Ð°Ñ…Ð¾Ð´Ñ□Ñ‚Ñ□Ñ□ Ð² Ð¾Ñ‡ÐµÐ²Ð¸Ð ´Ð½Ð¾Ð¼ ÐºÐ¾Ð½Ñ‚Ñ€Ð°Ñ□Ñ‚Ðµ. ÐšÐ°Ð»Ð»Ð¸Ð³Ñ€Ð°- Ñ„Ñ‹ Ð¸ Ð±Ð¾Ð»ÑŒÑˆÐ¸Ð½Ñ□Ñ‚Ð²Ð¾ Ñ…ÑƒÐ´Ð¾Ð¶Ð½Ð¸ÐºÐ¾Ð²- Ð¾Ñ„Ð¾Ñ€Ð¼Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÐµÐ¹ Ð¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·ÑƒÑŽÑ‚Ñ□Ñ□ Ñ‡ÐµÑ€Ð½Ñ‹Ð¼ Ð´Ð»Ñ□ Ð»ÑŽÐ±Ð¾Ð³Ð¾ Ð¾Ñ„Ð¾Ñ€Ð¼Ð»ÐµÐ½Ð¸Ñ□ Ð¿ÐµÑ‡Ð°Ñ‚Ð¸ Ð¸ Ð² Ð˜Ð½Ñ‚ÐµÑ€Ð½ÐµÑ‚Ðµ Ð´Ð»Ñ□ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ Ð¿Ð¾Ð²Ñ‹- Ñ□Ð¸Ñ‚ÑŒ Ñ‡Ð¸Ñ‚Ð°ÐµÐ¼Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒ, Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°ÑŽÑ‚ Ñ‚ÐµÐºÑ□Ñ‚ Ñ□ Ñ„Ð¾Ñ‚Ð¾Ð³Ñ€Ð°Ñ„Ð¸Ñ□Ð¼Ð¸ Ð¸ Ð¸Ð»Ð»ÑŽÑ□Ñ‚Ñ€Ð°Ñ†Ð¸Ñ□Ð¼Ð¸, Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ Ñ□Ð¾Ð·Ð´Ð°Ñ‚ÑŒ Ð±Ð¾Ð»ÐµÐµ Ñ□Ð»Ð¾Ð¶Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²Ðµ- Ñ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ðµ ÐºÐ¾Ð¼Ð¿Ð¾Ð·Ð¸Ñ†Ð¸Ð¸. ÐžÐ´ÐµÐ¶Ð´Ð° Ñ□ÐµÑ€Ñ‹Ñ… Ð¸ Ñ‡ÐµÑ€Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð², Ð·Ð°ÑƒÐ¶ÐµÐ½Ð½Ð°Ñ□ Ð¸Ð»Ð¸ ÑƒÐ ´Ð»Ð¸Ð½ÐµÐ½Ð½Ð°Ñ□, Ð¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·ÑƒÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Ð¿Ð¾Ð¿ÑƒÐ»Ñ□Ñ€- Ð½Ð¾Ñ□Ñ‚ÑŒÑŽ Ð¸ Ñ□Ñ‡Ð¸Ñ‚Ð°ÐµÑ‚Ñ□Ñ□ Ð¼Ð¾Ð´Ð½Ð¾Ð¹ Ð²Ð¾ Ð²Ñ□ÐµÐ¼ Ð¼Ð¸Ñ€Ðµ. Ð¡Ñ‚Ñ€Ð¾Ð³Ð¸Ðµ Ñ… Ð¾Ð»Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ðµ Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¸ Ñ‡ÐµÑ€Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ñ‡Ð°Ñ□Ñ‚Ð¾ Ð¸Ñ□Ð¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·ÑƒÑŽÑ‚Ñ□Ñ□ Ð² Ñ€Ðµ- ÐºÐ»Ð°Ð¼Ðµ Ð¸ Ð´Ð¸Ð·Ð°Ð¹Ð½Ðµ ÑƒÐ¿Ð°ÐºÐ¾Ð²Ð¾Ðº â€“ Ð²Ñ□Ðµ Ñ□Ñ‚Ð¾ Ð¿Ð¾Ð ´Ñ‡ÐµÑ€ÐºÐ¸Ð²Ð°ÐµÑ‚ Ð±Ð¾Ð³Ð°Ñ‚Ñ□Ñ‚Ð²Ð¾ Ð¸ Ð²Ñ‹Ñ□Ð¾ÐºÐ¸Ð¹ Ñ□Ñ‚Ð°Ñ‚ÑƒÑ□ Ð¿Ñ€Ð¾Ð´ÑƒÐºÑ‚Ð°. Â© mm/Photonica Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð ¢ÐµÐ¼Ð½Ð¾Ñ‚Ð° (Ñ…Ð¾Ð»Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ð¹ Ñ□ÐµÑ€Ñ‹Ð¹ + Ñ…Ð¾Ð»Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ð¹

Ñ‡ÐµÑ€Ð½Ñ‹Ð¹) Ð¼Ð¾Ð½Ð¾Ñ…Ñ€Ð¾Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑÐºÐ°Ñ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð°
Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð±Ð»Ð¸Ð·ÐºÐ¸Ñ…
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð¢ÐµÐ¼Ð½Ð¾Ñ‚Ð° (Ñ…Ð¾Ð»Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ð¹ ÑÐµÑ€Ñ‹Ð¹ + Ñ…Ð¾Ð»Ð¾Ð
´Ð½Ñ‹Ð¹ Ñ‡ÐµÑ€Ð½Ñ‹Ð¹) ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð´Ð¸ÑÐ³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ð¸
ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²
Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ€Ð°Ð·Ð±Ð¸Ð²Ð°Ð½Ð¸Ðµ ÑˆÐºÐ°Ð»Ñ‹ Ð
´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð¢ÐµÐ¼Ð½Ð¾Ñ‚Ð° (Ñ…Ð¾Ð»Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ð¹
ÑÐµÑ€Ñ‹Ð¹ + Ñ…Ð¾Ð»Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ð¹ Ñ‡ÐµÑ€Ð½Ñ‹Ð¹) ÑˆÐºÐ°Ð»Ð°
Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾ÑÑ‚Ð¸ (Ð¢ÐµÐ¿Ð»Ñ‹Ð¹ ÑÐµÑ€Ñ‹Ð¹) Ð“Ð¾Ñ€Ð¾Ð´ Ð
¢ÐµÐ¿Ð»Ñ‹Ð¹ ÑÐµÑ€Ñ‹Ð¹ â€“ Ð»ÑŽÐ±Ð¸Ð¼Ñ‹Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚, Ð°Ñ€- Ñ…
Ð¸Ñ‚ÐµÐºÑ‚Ð¾Ñ€Ð¾Ð², Ð½Ð¾ ÑÑ€ÐµÐ´Ð½ÐµÑÑ‚Ð°Ñ‚Ð¸ÑÑ‚Ð¸Ñ‡Ðµ- ÑÐºÐ¸Ð¹
Ñ‡ÐµÐ»Ð¾Ð²ÐµÐº Ñ‡Ð°ÑÑ‚Ð¾ ÑÐ¼Ð¾Ñ‚Ñ€Ð¸Ñ‚ Ð½Ð° Ð½ÐµÐ³Ð¾ ÑÐ²Ñ‹ÑÐ¾ÐºÐ°.
ÐœÐ½Ð¾Ð³Ð¸Ðµ Ð´Ð¸Ð·Ð°Ð¹Ð½ÐµÑ€Ñ‹ Ð¸Ð½Ñ‚Ðµ- Ñ€ÑŒÐµÑ€Ð° Ð¸ Ð°Ñ€Ñ…
Ð¸Ñ‚ÐµÐºÑ‚Ð¾Ñ€Ñ‹ ÑÑ‡Ð¸Ñ‚Ð°ÑŽÑ‚, Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ð¸Ð´ÐµÐ°Ð»ÑŒÐ½Ñ‹Ð¹
Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ñ‹Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚, Ð¼Ð¾- Ð´ÐµÑ‚, Ð±Ñ‹Ñ‚ÑŒ Ð
´Ð¾ÑÑ‚Ð¸Ð³Ð½ÑƒÑ‚, Ñ Ð¿Ð¾Ð¼Ð¾Ñ‰ÑŒÑŽ ÑÐ¼Ðµ- ÑˆÐ¸Ð²Ð°Ð½Ð¸Ñ
Ð½ÐµÐ±Ð¾Ð»ÑŒÑˆÐ¾Ð³Ð¾ ÐºÐ¾Ð»Ð¸Ñ‡ÐµÑÑ‚Ð²Ð° ÐºÑ€Ð°ÑÐ½Ð¾Ð³Ð¾ Ñ ÑÐµÑ€Ñ‹Ð¼.
Ð’Ñ‹Ð·Ñ‹Ð²Ð°ÑŽÑ‰Ð¸Ð¹ Ð¼Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ð°ÑÑÐ¾Ñ†Ð¸Ð°Ñ†Ð¸Ð¹ Ð¸
ÑƒÑÐ»Ð¾Ð¶Ð½ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ð¹, Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ñ‹Ð¹ ÑÐµÑ€Ñ‹Ð¹ Ð¾Ñ‚Ð»Ð¸Ñ‡Ð½Ð¾ Ð¿Ð¾Ð
´Ð¾Ð¹Ð´ÐµÑ‚, ÐºÐ°Ðº Ñ†Ð²ÐµÑ‚, ÑÑ‚ÐµÐ½, Ñ‚ÐºÐ°Ð½Ð¸, Ð¿Ð¾ÐºÑ€Ñ‹Ñ‚Ð¸Ð¹
Ð¿Ð¾Ð»Ð°. Ð¢Ð¾Ð½Ð° ÑÐµÑ€Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ð¿Ñ€Ð¸-
Ð²Ð½ÐµÑÑƒÑ‚, Ð¾Ñ‰ÑƒÑ‰ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ð°, Ð¾Ð±ÐµÑÐ¿ÐµÑ‡Ð°Ñ‚, Ñ‚Ð°ÐºÐ¶Ðµ
Ð¾Ñ‰ÑƒÑ‰ÐµÐ½Ð¸Ðµ ÑÑ‚Ð°Ð±Ð¸Ð»ÑŒÐ½Ð¾ÑÑ‚Ð¸ Ð² ÑÐ»Ð¾Ð¶Ð½Ñ‹Ñ…
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ñ… ÑÐ¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸ÑÑ…. Ð¢Ðµ- Ð¿Ð»Ñ‹Ð¹ ÑÐµÑ€Ñ‹Ð¹
Ñ‚Ð°ÐºÐ¶Ðµ Ñ…Ð¾Ñ€Ð¾Ñˆ, ÐºÐ¾Ð³Ð´Ð° Ð¾Ð½ Ð¸ÑÐ¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·ÑƒÐµÑ‚ÑÑ Ð²
ÑÐ¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ð¸ Ñ Ñ‚Ð¾Ð½Ð°Ð¼Ð¸ Ð¼Ð¾Ð½Ð¾Ñ…Ñ€Ð¾Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑÐºÐ¾Ð¹
ÑˆÐºÐ°Ð»Ñ‹ Ð¸Ð»Ð¸ ÐºÐ°Ðº Ñ†Ð²ÐµÑ‚-Ð¾ÑÐ½Ð¾Ð²Ð°, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ð¹ Ð
´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½ÑÐµÑ‚ÑÑ Ð´Ñ€ÑƒÐ³Ð¸Ð¼Ð¸. Ð§Ð°ÑÑ‚Ð¾ Ð½ÐµÐ
´Ð¾Ð¾Ñ†ÐµÐ½Ð¸Ð²Ð°ÑŽÑ‚, ÐµÐ³Ð¾ Ñ€Ð¾Ð»ÑŒ Ð´Ð»Ñ Ð¿Ð¾Ð»Ð¸Ñ€Ð¾Ð²Ð°Ð½Ð½Ñ‹Ñ…
Ð¿Ð¾Ð²ÐµÑ€Ñ…Ð½Ð¾- ÑÑ‚ÐµÐ¹ Ñ€Ð°Ð±Ð¾Ñ‡Ð¸Ñ… Ð¿Ð¾Ð¼ÐµÑ‰ÐµÐ½Ð¸Ð¹;
Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ñ‹Ð¹ ÑÐµÑ€Ñ‹Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚ â€“ ÑÑ‚Ð¾ Ð¸Ð·Ñ‹ÑÐºÐ°Ð½Ð½Ñ‹Ð¹ Ð½ÐµÐ¹-
Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ñ‹Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚, Ð¿Ð¾Ð´Ñ‡ÐµÑ€ÐºÐ¸Ð²Ð°ÑŽÑ‰Ð¸Ð¹ Ð½ÐµÐ¿Ñ€ÐµÑ…Ð¾Ð
´ÑÑ‰Ð¸Ð¹ ÑÑ‚Ð¸Ð»ÑŒ. Â© John Wilkes/Photonica Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð“Ð¾Ñ€Ð¾Ð´ (Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ñ‹Ð¹ ÑÐµÑ€Ñ‹Ð¹) Ð¼Ð¾Ð½Ð¾Ñ…
Ñ€Ð¾Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑÐºÐ°Ñ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð±Ð»Ð¸Ð·ÐºÐ¸Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð
´Ð¸ÑÐ³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ð¸ ÑˆÐºÐ°Ð»Ð° Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ…
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð“Ð¾Ñ€Ð¾Ð´ (Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ñ‹Ð¹ ÑÐµÑ€Ñ‹Ð¹)
Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ€Ð°Ð·Ð±Ð¸Ð²Ð°Ð½Ð¸Ðµ ÑˆÐºÐ°Ð»Ñ‹ Ð
´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² ÑˆÐºÐ°Ð»Ð°
Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾ÑÑ‚Ð¸ Ð“Ð¾Ñ€Ð¾Ð´ (Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ñ‹Ð¹ ÑÐµÑ€Ñ‹Ð¹) (Ð
¢ÐµÐ¿Ð»Ñ‹Ð¹ Ð±ÐµÐ»Ñ‹Ð¹) Ð¡Ð´ÐµÑ€Ð¶Ð°Ð½Ð½Ð¾ÑÑ‚ÑŒ ÐÐ°Ñ‚ÑƒÑ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ñ‹Ðµ
Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¸, Ð¾ÑÐ¾Ð±ÐµÐ½Ð½Ð¾ Ð±Ð»ÐµÐ´Ð½Ð¾-Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ð¾Ð³Ð¾
Ñ‚Ð¾Ð½Ð°, Ð¸Ð´ÐµÐ°Ð»ÑŒ- Ð½Ð¾ Ð¿Ð¾Ð´Ñ…Ð¾Ð´ÑÑ‚, Ð´Ð»Ñ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ñ…
ÐºÐ¾Ð¼Ð¿Ð¾- Ð·Ð¸Ñ†Ð¸Ð¹ Ð¸Ð½Ñ‚ÐµÑ€ÑŒÐµÑ€Ð¾Ð², ÐºÐ°Ðº Ð´Ð»Ñ Ñ„Ð¾Ñ€Ð¼Ñ‹,
Ñ‚Ð°Ðº Ð¸ Ð´Ð»Ñ Ð¾Ð±Ñ‰ÐµÐ³Ð¾ ÑÑ‚Ð¸Ð»Ñ. ÐÑ‚Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¸
Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¸ Ð·Ð°Ð¼ÐµÑ‡Ð°Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ð¾ ÑÐ¼Ð¾Ñ‚Ñ€ÑÑ‚ÑÑ, Ð¾ÑÐ²ÐµÑ
‰ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ ÑÐ¾Ð»Ð½ÐµÑ‡Ð½Ñ‹Ð¼ ÑÐ²ÐµÑ‚Ð¾Ð¼. Ð¢Ðµ, ÐºÑ‚Ð¾ ÑÐ»ÐµÐ
´ÑƒÐµÑ‚, Ð¼Ð¾Ð´Ðµ, Ð¶Ð´ÑƒÑ‚, Ð½Ð°ÑÑ‚ÑƒÐ¿Ð»ÐµÐ½Ð¸Ñ Ð·Ð¸Ð¼Ñ‹, Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹
Ð¿Ñ€Ð¸Ð¾Ð±Ñ€ÐµÑÑ‚Ð¸ Ð¾Ð´ÐµÐ¶Ð´Ñƒ Ð±ÐµÐ»Ñ‹Ñ… Ñ‚Ð¾Ð½Ð¾Ð² Ñ Ð¾Ñ‡ÐµÐ½ÑŒ
Ð¼ÑÐ³ÐºÐ¸Ð¼ Ð´Ð¾Ð±Ð°Ð²- Ð»ÐµÐ½Ð¸ÐµÐ¼ Ð¾Ñ€Ð°Ð½Ð¶ÐµÐ²Ð¾Ð³Ð¾, ÑÑ‚Ð¾
Ð¾Ð±Ð½Ð¾Ð²Ð¸Ñ‚, Ð»ÑŽÐ±Ð¾Ð¹ Ð³Ð°Ñ€Ð´ÐµÑ€Ð¾Ð± Ð½Ð° Ð¿Ñ€Ð¾Ñ‚ÑÐ¶ÐµÐ½Ð¸Ð¸ Ñ…
Ð¾Ð»Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ñ… Ð·Ð¸Ð¼Ð½Ð¸Ñ… Ð¼ÐµÑÑÑ†ÐµÐ². Ð§ÐµÑ…Ð»Ñ‹,
Ð¿Ð¾ÐºÑ€Ñ‹Ð²Ð°Ð»Ð° Ð¸ Ð¿Ð¾Ð´ÑƒÑˆÐºÐ¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð±ÑƒÐ¹- Ð²Ð¾Ð»Ð¾Ð²Ð¾Ð¹
ÐºÐ¾Ð¶Ð¸ Ð¸ ÑÐºÑ€ÑŽ Ð² ÑÐ¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ð¸ Ñ Ñ„Ð°ÐºÑ‚ÑƒÑ€Ð¾Ð¹ Ñ‚ÐºÐ°Ð½Ð¸
ÐºÑ€ÑƒÐ¿Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ð¿Ð»ÐµÑ‚Ðµ- Ð½Ð¸Ñ ÑÐ¾Ð·Ð´Ð°Ð´ÑƒÑ‚, Ð¿Ð¾ÑÑ‚Ð¾ÑÐ½ÑƒÑŽ
Ð°Ñ‚Ð¼Ð¾ÑÑ„ÐµÑ€Ñƒ Ð´Ð¾Ð¼Ð°, ÐºÑƒÐ´Ð° Ð¼Ð¾Ð¶Ð½Ð¾ Ð²ÐµÑ€Ð½ÑƒÑ‚ÑŒÑÑ Ð²
Ð»ÑŽÐ±Ð¾Ð¹ Ð¼Ð¾Ð¼ÐµÐ½Ñ‚, Ð¶Ð¸Ð·Ð½Ð¸. ÐŸÐµÑ€ÐµÐ´Ð°Ð¹Ñ‚Ðµ Ñ…Ð°Ñ€Ð°Ðº- Ñ‚ÐµÑ€
Ð¿Ð¾Ð»Ð¸Ñ€Ð¾Ð²Ð°Ð½Ð½Ñ‹Ñ… Ð¿Ð¾Ð²ÐµÑ€Ñ…Ð½Ð¾ÑÑ‚ÐµÐ¹ Ð¾Ñ„Ð¸ÑÐ½Ñ‹Ñ…

Ð¿Ð¾Ð¼ÐµÑ‰ÐµÐ½Ð¸Ð¹, Ð´Ð»Ñ ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ñ… Ñ‚Ñ€ÐµÐ±ÑƒÑŽÑ‚Ñ Ñ Ð²
Ð¿ÐµÑ€Ð²ÑƒÑŽ Ð¾Ñ‡ÐµÑ€ÐµÐ´ÑŒ Ñ Ñ‚Ð¸Ð»ÑŒ, Ñ„ÑƒÐ½ÐºÑ†Ð¸Ð¾Ð½Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾Ñ Ñ‚ÑŒ
Ð¸ Ð´Ð¾Ñ€Ð¾Ð³Ð¾Ð¹ Ð²Ð¸Ð´, Ð´Ð¾Ñ Ñ‚Ð¸Ð³Ð°ÐµÐ¼Ñ‹Ð¹ Ð·Ð°
Ñ Ñ‡ÐµÑ‚, Ñ Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ñ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ Ð»Ð¾Ð½Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ ÐºÐ¾Ñ Ñ‚Ð¸ Ð¸
Ð±Ð¸Ñ ÐºÐ²Ð¸Ñ‚Ð° Ñ Ð¿Ñ€Ð¾Ñ‡Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°Ð¼Ð¸
Ñ Ðµ- Ñ€Ñ‹Ð¼, Ñ‡ÐµÑ€Ð½Ñ‹Ð¼ Ð¸ Ñ Ñ‚Ð°Ð»ÑŒÐ½Ñ‹Ð¼. Â© Jun
Yamashita/Photonica Ð•Ñ Ñ‚ÐµÑ Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¡Ð
´ÐµÑ€Ð¶Ð°Ð½Ð½Ð¾Ñ Ñ‚ÑŒ (Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ñ‹Ð¹ Ð±ÐµÐ»Ñ‹Ð¹) Ð¼Ð¾Ð½Ð¾Ñ…
Ñ€Ð¾Ð¼Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑ ÐºÐ°Ñ Ñˆ ÐºÐ°Ð»Ð° Ð•Ñ Ñ‚ÐµÑ Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
Ñˆ ÐºÐ°Ð»Ð° Ð±Ð»Ð¸Ð·ÐºÐ¸Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð¡Ð´ÐµÑ€Ð¶Ð°Ð½Ð½Ð¾Ñ Ñ‚ÑŒ
(Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ñ‹Ð¹ Ð±ÐµÐ»Ñ‹Ð¹) Ñˆ ÐºÐ°Ð»Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð
´Ð¸Ñ Ð³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ð¸ Ñˆ ÐºÐ°Ð»Ð° Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ…
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð•Ñ Ñ‚ÐµÑ Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ñ€Ð°Ð·Ð±Ð°Ð²Ð»ÐµÐ½Ð¸Ðµ
Ñˆ ÐºÐ°Ð»Ñ‹ Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð¡Ð
´ÐµÑ€Ð¶Ð°Ð½Ð½Ð¾Ñ Ñ‚ÑŒ (Ñ‚ÐµÐ¿Ð»Ñ‹Ð¹ Ð±ÐµÐ»Ñ‹Ð¹) Ñˆ ÐºÐ°Ð»Ð°
Ð½ÐµÐ¹Ñ‚Ñ€Ð°Ð»ÑŒÐ½Ð¾Ñ Ñ‚Ð¸ Ñˆ ÐºÐ°Ð»Ð° Ð´Ð¾Ð¿Ð¾Ð»Ð½Ð¸Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ…
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð’Ð´Ð¾Ñ…Ð½Ð¾Ð²ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð² Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ðµ ÐžÐ±Ñ€ÐµÑ Ñ‚Ð¸ Ð²Ð´Ð¾Ñ…
Ð½Ð¾Ð²ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð´Ð»Ñ Ñ Ð¾Ð·Ð´Ð°Ð½Ð¸Ñ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñ‹ Ð¸Ð·
ÐµÑ Ñ‚ÐµÑ Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð´Ð¾Ð²Ð¾Ð»ÑŒÐ½Ð¾ Ð¿Ñ€Ð¾Ñ Ñ‚Ð¾.
ÐžÐ³Ð»Ñ Ð´Ð¸Ñ‚ÐµÑ ÑŒ Ð²Ð¾- ÐºÑ€ÑƒÐ³ Ñ ÐµÐ±Ñ . Ð•Ñ Ð»Ð¸ Ð²Ñ‹
Ñ€Ð°Ð·Ñ€Ð°Ð±Ð°Ñ‚Ñ‹Ð²Ð°ÐµÑ‚Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²ÑƒÑŽ Ð³Ð°Ð¼Ð¼Ñƒ Ð´Ð»Ñ
Ð¸Ð½Ñ‚ÐµÑ€ÑŒÐµÑ€Ð°, Ð²Ð°Ð¼ Ð¼Ð¾Ð¶ÐµÑ‚ Ð¿Ð¾Ð¼Ð¾Ñ‡ÑŒ Ð²Ð¾Ñ‚ Ñ‡Ñ‚Ð¾:
Ð¿Ñ€Ð¸Ð³Ð»Ñ Ð´Ð¸- Ñ‚ÐµÑ ÑŒ Ðº Ñ€Ð°Ð·Ð½Ñ‹Ð¼ Ñ‚Ð¸Ð¿Ð°Ð¼ Ð»Ð°Ð½Ð´ÑˆÐ°Ñ„Ñ‚Ð°,
ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ð²Ð°Ð¼ Ð½Ñ€Ð°Ð²Ñ Ñ‚Ñ Ñ . Ð˜Ð»Ð¸ Ð¿Ð¾Ð´ÑƒÐ¼Ð°Ð¹Ñ‚Ðµ Ð¾
Ñ‚Ð¾Ð¼ Ð¼ÐµÑ Ñ‚Ðµ, Ð³Ð´Ðµ Ñ Ñ‚Ð¾Ð¸Ñ‚ Ð²Ð°Ñˆ Ð´Ð¾Ð¼ Ð¸Ð»Ð¸ Ð¾Ñ„Ð¸Ñ , Ð¸
Ñ Ð´ÐµÐ»Ð°Ð¹Ñ‚Ðµ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñƒ Ñ Ð¾Ð·Ð²ÑƒÑ‡Ð½Ð¾Ð¹ Ð²Ð°ÑˆÐµÐ¹ Ð¿Ð¾Ð²Ñ ÐµÐ
´Ð½ÐµÐ²Ð½Ð¾Ð¹ Ð¾Ð±Ñ Ñ‚Ð°Ð½Ð¾Ð²ÐºÐµ. Ð˜Ð¼Ð¿ÑƒÐ»ÑŒÑ Ð´Ð»Ñ Ñ Ð¾Ð·Ð
´Ð°Ð½Ð¸Ñ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñ‹ Ð¸Ð· Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð¼Ð¾Ð¶-
Ð½Ð¾ Ð½Ð°Ð¹Ñ‚Ð¸ Ð² Ð±Ð¾Ð»ÑŒÑˆÐ¸Ð½Ñ Ñ‚Ð²Ðµ Ñ‚ÐµÑ… Ð¼ÐµÑ Ñ‚,, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ
Ð½Ð°Ñ Ð¾ÐºÑ€ÑƒÐ¶Ð°ÑŽÑ‚,. Ð£Ð¿Ð°Ð²ÑˆÐ¸Ð¹ Ð»Ð¸Ñ Ñ‚,, Ñ…Ð¾Ñ€Ð¾ÑˆÐ¾
ÑƒÑ‚Ð¾Ð¿Ñ‚Ð°Ð½Ð½Ð°Ñ Ð´Ð¾Ñ€Ð¾Ð¶ÐºÐ°, Ð»ÑŽÐ±Ð¸Ð¼Ð°Ñ Ð¼Ð¾Ñ€Ñ ÐºÐ°Ñ
Ñ€Ð°ÐºÑƒÑˆÐºÐ° â€“ ÐµÑ Ð»Ð¸ Ð²Ñ Ðµ Ñ Ñ‚Ð¾ Ñ‚Ñ‰Ð°Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ð¾
Ð¸Ð·ÑƒÑ‡Ð¸Ñ‚ÑŒ, Ð¼Ð¾Ð¶Ð½Ð¾ Ð¿Ð¾Ð»ÑƒÑ‡Ð¸Ñ‚ÑŒ Ð²Ð¾Ð·Ð¼Ð¾Ð¶Ð½Ð¾Ñ Ñ‚ÑŒ Ð´Ð»Ñ
Ð±ÐµÑ - ÐºÐ¾Ð½ÐµÑ‡Ð½Ñ‹Ñ… Ñ ÐºÑ Ð¿ÐµÑ€Ð¸Ð¼ÐµÐ½Ñ‚Ð¾Ð² Ñ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð¼.
ÐŸÑ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð° Ð¿Ñ€ÐµÐ´Ð»Ð°Ð³Ð°ÐµÑ‚, Ð½Ð°Ð¼ Ð¿Ð¾Ñ‡Ñ‚Ð¸ Ð½Ðµ-
Ð¸Ñ Ñ‡ÐµÑ€Ð¿Ð°ÐµÐ¼Ñ‹Ð¹ Ð¸Ñ Ñ‚Ð¾Ñ‡Ð½Ð¸Ðº Ð·ÐµÐ¼Ð»Ð¸, Ð¼Ð¾Ñ€Ñ Ð¸ Ð½ÐµÐ±Ð°
Ð´Ð»Ñ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ Ð²Ð´Ð¾Ñ…Ð½Ð¾Ð²Ð¸Ñ‚ÑŒ Ð½Ð°Ñ Ð¸ Ð¿Ð¾Ð±ÑƒÐ
´Ð¸Ñ‚ÑŒ Ðº Ð´ÐµÐ¹Ñ Ñ‚Ð²Ð¸ÑŽ. Ð˜Ð·ÑƒÑ‡Ð¸Ñ‚Ðµ Ñ€Ð°Ð·Ð»Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ðµ Ñ…ÑƒÐ
´Ð¾Ð¶ÐµÑ Ñ‚Ð²ÐµÐ½- Ð½Ñ‹Ðµ Ð½Ð°Ð¿Ñ€Ð°Ð²Ð»ÐµÐ½Ð¸Ñ Ð¸Ð»Ð¸ Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ñ‚Ð¸Ñ‚Ðµ
Ð²Ð½Ð¸Ð¼Ð°Ð½Ð¸Ðµ Ð½Ð° Ð¾Ñ‚Ð´ÐµÐ»ÑŒÐ½Ñ‹Ñ… Ñ…ÑƒÐ´Ð¾Ð¶Ð½Ð¸- ÐºÐ¾Ð² â€“
Ð²Ñ Ðµ Ñ Ñ‚Ð¾ Ð¿Ð¾Ð¼Ð¾Ð¶ÐµÑ‚, Ð²Ð°Ð¼ Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ðµ- Ñ Ñ‚Ð¸ Ð²Ð´Ð¾Ñ…
Ð½Ð¾Ð²ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð´Ð»Ñ Ð¿Ð¾Ð¸Ñ ÐºÐ° Ð½ÑƒÐ¶- Ð½Ð¾Ð¹ Ð³Ð°Ð¼Ð¼Ñ‹.
Ð Ð°Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÑ€, Ð±Ð¾Ð»ÑŒÑˆÐ°Ñ Ñ‡Ð°Ñ Ñ‚ÑŒ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð², ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ
Ð¸Ñ Ð¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·Ð¾- Ð²Ð°Ð» Ð£Ð¸Ð»ÑŒÑ Ð¼ ÐœÐ¾Ñ€Ñ€Ð¸Ñ (Ð°Ð½Ð³Ð»Ð¸Ð¹Ñ ÐºÐ¸Ð¹
Ñ…ÑƒÐ´Ð¾Ð¶Ð½Ð¸Ðº, Ð¿Ð¸Ñ Ð°Ñ‚ÐµÐ»ÑŒ Ð¸ Ñ‚Ð¾Ð¿Ð¾Ð³Ñ€Ð°Ñ„, Â© Harriet
Zucker/Photonica Ð•Ñ Ñ‚ÐµÑ Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Â© John S.
Botkin/Photonica Ð’Ð´Ð¾Ñ…Ð½Ð¾Ð²ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð² Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ðµ
Ð·Ð°Ñ Ð»ÑƒÐ¶Ð¸Ð²ÑˆÐ¸Ð¹ Ð¾Ñ Ð¾Ð±Ð¾Ðµ ÑƒÐ²Ð°Ð¶ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð·Ð° Ñ€Ð°Ð±Ð¾Ñ‚Ñƒ Ð²
Ð¾Ð±Ð»Ð°Ñ Ñ‚Ð¸ Ð¾Ñ„Ð¾Ñ€Ð¼Ð»ÐµÐ½Ð¸Ñ Ñ‚ÐºÐ°- Ð½ÐµÐ¹ Ð¸ Ð¾Ð±Ð¾ÐµÐ²),
Ð¾Ð±Ð½Ð°Ñ€ÑƒÐ¶Ð¸Ð²Ð°ÐµÑ‚, Ð²Ð»Ð¸Ñ Ð½Ð¸Ðµ ÐµÐ³Ð¾ Ð½Ð°Ð±Ð»ÑŽÐ´ÐµÐ½Ð¸Ð¹ Ð·Ð°
Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð¾Ð¹, Ð¿Ñ€Ð¸- Ñ€Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ„Ð¾Ñ€Ð¼Ð°Ð¼Ð¸ Ð¸ Ð·Ð½Ð°Ð½Ð¸Ñ
Ñ Ñ€ÐµÐ´Ð½Ðµ- Ð²ÐµÐºÐ¾Ð²Ð¾Ð³Ð¾ Ð¸Ñ ÐºÑƒÑ Ñ Ñ‚Ð²Ð°. ÐœÐ¾Ñ€Ñ€Ð¸Ñ
Ð¸Ð·Ð²ÐµÑ Ñ‚ÐµÐ½ Ñ Ð²Ð¾ÐµÐ¹ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ð¾Ð¹ ÐºÐ¾Ð½- Ñ†Ð° XIX Ð²ÐµÐºÐ°,
Ð¾Ñ Ð½Ð¾Ð²Ð°Ð½Ð½Ð¾Ð¹ Ð½Ð° Ð·ÐµÐ¼Ð»Ñ Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°Ñ…, ÐºÑƒÐ´Ð°
Ð²ÐºÐ»ÑŽÑ‡ÐµÐ½Ñ‹ Ð¼Ð½Ð¾Ð¶ÐµÑ Ñ‚Ð²Ð¾ Ð·ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ñ…, Ð³Ð¾Ð»ÑƒÐ±Ñ‹Ñ…,
Ð¶ÐµÐ»Ñ‚Ð¾-Ð·Ð¾Ð»Ð¾Ñ‚Ñ‹Ñ… Ð¸ Ñ‚ÐµÐ¼Ð½Ð¾-ÐºÑ€Ð°Ñ Ð½Ñ‹Ñ… Ñ‚Ð¾Ð½Ð¾Ð²,
ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ð½Ð°- Ð²ÐµÑ Ð½Ñ‹ Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð¾Ð¹. Ð’Ð´Ð¾Ñ…Ð½Ð¾Ð²ÐµÐ½Ð¸Ðµ
Ð´Ð»Ñ Ñ Ð¾Ð·Ð´Ð°Ð½Ð¸Ñ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€ Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²
Ð¼Ð¾Ð¶Ð½Ð¾ Ð½Ð°Ð¹Ñ‚Ð¸, Ð¸Ð·ÑƒÑ‡Ð°Ñ ÐºÐ°Ñ€Ñ‚Ð¸Ð½Ñ‹ Ð¿ÐµÐ¹Ð·Ð°-

Ð¶Ð¸Ñ□Ñ‚Ð¾Ð² Ð¾Ñ‚ Ñ‚Ñ€Ð°Ð´Ð¸Ñ†Ð¸Ð¾Ð½Ð½Ð¾Ð³Ð¾ Ñ□Ð¿Ð¾Ð½Ñ□ÐºÐ¾Ð³Ð¾
Ð¸Ñ□ÐºÑƒÑ□Ñ□Ñ‚Ð²Ð° Ð´Ð¾ Ñ„Ñ€Ð°Ð½Ñ†ÑƒÐ·Ñ□ÐºÐ¸Ñ…Ð¸Ð¼Ð¿Ñ€ÐµÑ□Ñ□Ð¸-
Ð¾Ð½Ð¸Ñ□Ñ‚Ð¾Ð² Ð¸ Ð½Ð°Ñ‚ÑƒÑ€Ð°Ð»Ð¸Ñ□Ñ‚Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ¸Ñ… Ð¿Ñ€Ð¾Ð¸Ð·- Ð²ÐµÐ
´ÐµÐ½Ð¸Ð¹ Ð² Ñ□Ñ‚Ð¸Ð»Ðµ Ð¼Ð¾Ð´ÐµÑ€Ð½. ÐŸÐ¾Ð¿Ñ€Ð¾Ð±ÑƒÐ¹Ñ‚Ðµ
Ð¾Ñ‚Ñ‹Ñ□ÐºÐ°Ñ‚ÑŒ Ð²Ð´Ð¾Ñ…Ð½Ð¾Ð²ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð² Ñ□Ð¸Ð¼Ð²Ð¾Ð»Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ¸Ñ…
Ð·Ð½Ð°Ñ‡ÐµÐ½Ð¸Ñ□Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ñ‚Ð°Ðº, ÐºÐ°ÐºÑ□Ñ‚Ð¾ Ð¿Ð¾Ð½Ð¸Ð¼Ð°Ð»Ð¸ Ð²
Ñ€Ð°Ð·Ð»Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ñ… ÐºÑƒÐ»ÑŒÑ‚ÑƒÑ€Ð°Ñ…. Ð—Ð°Ð¿Ð°Ð´Ð½Ñ‹Ðµ Ð¸
Ð²Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ‡Ð½Ñ‹Ðµ ÐºÑƒÐ»ÑŒÑ‚ÑƒÑ€Ñ‹ Ð² Ñ□Ð²Ð¾ÐµÐ¼ Ð±Ð¾Ð»ÑŒÑˆÐ¸Ð½Ñ□Ñ‚Ð²Ðµ
Ð¿Ñ€Ð¸- Ð´Ð°Ð²Ð°Ð»Ð¸ Ð±Ð¾Ð»ÑŒÑˆÐ¾Ðµ Ð·Ð½Ð°Ñ‡ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ñƒ Ð²
Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ðµ. Ð˜Ð½Ñ‚ÐµÑ€ÐµÑ□Ð½Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹
Ñ□Ð¸Ð¼Ð²Ð¾Ð»Ð¸Ð·Ð¼ Ñ‡Ð°Ñ□Ñ‚Ð¾ Ð¿Ñ€Ð¸Ð¾Ð±Ñ€ÐµÑ‚Ð°Ð» Ñ‚Ð°ÐºÐ¸Ðµ
Ð·Ð½Ð°Ñ‡ÐµÐ½Ð¸Ñ□, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ð¿ÑƒÑ‚ÐµÑˆÐµÑ□Ñ‚Ð²Ð¾Ð²Ð°- Ð»Ð¸
Ñ□ÐºÐ²Ð¾Ð·ÑŒ Ð²ÐµÐºÐ° Ð¸ Ñ€Ð°Ð·Ð½Ñ‹Ðµ ÐºÑƒÐ»ÑŒÑ‚ÑƒÑ€Ñ‹. Ð¢Ð°Ðº,
Ð½Ð°Ð¿Ñ€Ð¸Ð¼ÐµÑ€, ÐºÐ°Ðº Ð´Ð»Ñ□ Ñ…Ñ€Ð¸Ñ□Ñ‚Ð¸Ð°Ð½, Ñ‚Ð°Ðº Ð¸ Ð´Ð»Ñ□ Ð
´Ñ€ÑƒÐ¸Ð´Ð¾Ð² Ð±ÐµÐ»Ñ‹Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ð¾Ð·Ð½Ð°Ñ‡Ð°Ð» Ñ‡Ð¸Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ‚Ñƒ. Ð—
ÐµÐ»ÐµÐ½Ñ‹Ð¹ Ð³Ð¾Ð²Ð¾Ñ€Ð¸Ð» Ð¾ Ð²Ð¾Ð·Ñ€Ð¾Ð¶- Ð´ÐµÐ½Ð¸Ð¸ Ð¸ Ð¶Ð¸Ð·Ð½Ð¸
Ð²Ð¾ Ð¼Ð½Ð¾Ð³Ð¸Ñ… ÐºÑƒÐ»ÑŒÑ‚ÑƒÑ€Ð°Ñ…, Ð¾Ñ‚Ñ□Ñ‡Ð¸Ñ‚Ñ‹Ð²Ð°ÑŽÑ‰Ð¸Ñ… Ñ□Ð²Ð¾Ðµ
Ð½Ð°Ñ‡Ð°Ð»Ð¾ Ð¾Ñ‚ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾ Ð¶Ðµ Ð²Ñ€ÐµÐ¼ÐµÐ½Ð¸, Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ð¸ Ð´Ñ€ÐµÐ²Ð½Ð¸Ðµ
ÐµÐ³Ð¸Ð¿Ñ‚Ñ□Ð½Ðµ. Ð˜Ð·ÑƒÑ‡ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð¸ Ð¿Ð¾Ð½Ð¸Ð¼Ð°Ð½Ð¸Ðµ Ð¼Ð½Ð¾Ð³Ð¸Ñ…
Ð·Ð½Ð°- Ñ‡ÐµÐ½Ð¸Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ñ□Ð¸Ð¼Ð²Ð¾Ð»Ð¸ÐºÐ¸
Ð¼Ð¾Ð¶ÐµÑ‚ Ð¿Ð¾Ñ□Ð»ÑƒÐ¶Ð¸Ñ‚ÑŒ Ð¾Ñ‚Ð¿Ñ€Ð°Ð²Ð½Ð¾Ð¹ Ñ‚Ð¾Ñ‡ÐºÐ¾Ð¹ Ð¸ Ð¸Ð¼-
Ð¿ÑƒÐ»ÑŒÑ□Ð¾Ð¼ Ð´Ð»Ñ□ Ñ□Ð¾Ð·Ð´Ð°Ð½Ð¸Ñ□ Ð³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ñ‡Ð½Ð¾Ð¹
Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñ‹ Ð² Ð»ÑŽÐ±Ð¾Ð¼ Ð¾Ñ„Ð¾Ñ€Ð¼Ð»ÐµÐ½Ð¸Ð¸, Ð¸Ñ□- ÐºÑƒÑ□Ñ□Ñ‚Ð²Ðµ,
Ð¸Ð½Ñ‚ÐµÑ€ÑŒÐµÑ€Ðµ, Ð¿Ñ€Ð¾ÐµÐºÑ‚Ðµ. Ð□Ð° Ð¿Ñ€Ð¾Ñ‚Ñ□Ð¶ÐµÐ½Ð¸Ð¸ Ð²Ñ□ÐµÐ¹
Ð¸Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ€Ð¸Ð¸ ÐºÐ¾Ð¼Ð±Ð¸- Ð½Ð°Ñ†Ð¸Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð², Ð² Ð¾Ñ□Ð½Ð¾Ð²Ñƒ
ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ñ… Ð±Ñ‹Ð»Ð¸ Ð¿Ð¾Ð»Ð¾Ð¶ÐµÐ½Ñ‹ ÐºÑ€Ð°Ñ□ÐºÐ¸ Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ñ‹,
Ñ□Ð¾Ñ□Ñ‚Ð°Ð²- Ð»Ñ□Ð»Ð¸ Ð¾Ñ‡ÐµÐ½ÑŒ Ð³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ðµ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñ‹.
ÐŸÑ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð° Ñ□Ð°Ð¼Ð° Ð¿Ð¾ Ñ□ÐµÐ±Ðµ Ñ‚Ñ€ÐµÐ±ÑƒÐµÑ‚ Ñ€Ð°Ð·- ÑƒÐ¼Ð½Ð¾Ð³Ð¾
ÑƒÑ□Ñ‚Ñ€Ð¾Ð¹Ñ□Ñ‚Ð²Ð° Ð¸ Ñ‡ÑƒÐ²Ñ□Ñ‚Ð²Ð° Ð¿Ð¾Ñ€Ñ□Ð´- ÐºÐ°, Ð¾Ñ□Ð¾Ð±ÐµÐ½Ð½Ð¾
Ñ‚Ð¾Ð³Ð´Ð°, ÐºÐ¾Ð³Ð´Ð° Ð¾Ð½Ð° Ñ□Ñ‚Ð°Ð½Ð¾- Ð²Ð¸Ñ‚Ñ□Ñ□ Ð¾Ñ□Ð½Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð
´Ð»Ñ□ Ð²Ñ‹Ð±Ð¾Ñ€Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð³Ð°Ð¼Ð¼Ñ‹. Ð˜Ð·ÑƒÑ‡Ð¸Ñ‚Ðµ
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ðµ Ð²Ð°Ñ€Ð¸Ð°Ð½Ñ‚Ñ‹ Ð¸ Ñ□Ð²ÐµÐ´Ð¸Ñ‚Ðµ Ð¸Ñ… Ðº ÑƒÐ·ÐºÐ¾Ð¼Ñƒ
ÐºÑ€ÑƒÐ³Ñƒ Ð¾Ñ□Ð¾Ð±ÐµÐ½- Ð½Ð¾Ð¹ ÐºÐ¾Ð¼Ð±Ð¸Ð½Ð°Ñ†Ð¸Ð¸ Ð¿ÐµÑ€ÐµÑ…Ð¾Ð´Ñ□Ñ
‰Ð¸Ñ… Ð´Ñ€ÑƒÐ³ Ð² Ð´Ñ€ÑƒÐ³Ð° Ð³Ð°Ñ€Ð¼Ð¾Ð½Ð¸Ñ‡Ð½Ñ‹Ñ… Ð¾Ñ‚Ñ‚ÐµÐ½ÐºÐ¾Ð².
ÐŸÐ¾Ð¼Ð½Ð¸- Ñ‚Ðµ Ð¾ Ñ‚Ð¾Ð¼, Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ð¿Ñ€Ð¸Ñ‡Ñ‚Ð½Ð¾Ðµ Ð¾Ñ‰ÑƒÑ‰ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð¾Ñ‚
Ð²Ð¾Ñ□Ð¿Ñ€Ð¸Ñ□Ñ‚Ð¸Ñ□ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð´Ð¾Ð»Ð¶Ð½Ð¾ Ð½Ðµ Ñ‚Ð¾Ð»ÑŒÐºÐ¾
Ð¿Ñ€Ð¸Ð²Ð»ÐµÐºÐ°Ñ‚ÑŒ Ñ□Ð¼Ð¾Ñ‚Ñ€Ñ□Ñ‰ÐµÐ³Ð¾, Ð½Ð¾ Ð¸ Ð²Ð´Ð¾Ñ…-
Ð½Ð¾Ð²Ð»Ñ□Ñ‚ÑŒ ÐµÐ³Ð¾. Ð’Ð¾Ð·Ð¼Ð¾Ð¶Ð½Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ð»ÑƒÑ‡ÑˆÐ¸Ð¹ Ñ□Ð¿Ð¾Ñ□Ð¾Ð±
Ð²Ñ‹Ð±Ð¾Ñ€Ð° Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñ‹ Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ñ…
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð² Ð·Ð°ÐºÐ»ÑŽÑ‡ÐµÐ½ Ð² Ñ‚Ð¾Ð¼, Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ Ð¸Ñ□ÐºÐ°Ñ‚ÑŒ Ð²Ð´Ð¾Ñ…
Ð½Ð¾Ð²ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð² Ñ□Ð°Ð¼Ð¾Ð¼ Ð½ÐµÐ¿Ð¾Ñ□Ñ€ÐµÐ´Ñ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ð¾Ð¼
Ð¸Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ‡Ð½Ð¸ÐºÐµ, â€“ Ð½Ð°- ÑˆÐµÐ¹ Ð¿Ð»Ð°Ð½ÐµÑ‚Ðµ Ð²Ñ‹ Ð½Ð°Ð¹Ð´ÐµÑ‚Ðµ
Ð±ÐµÑ□ÐºÐ¾Ð½ÐµÑ‡- Ð½Ñ‹Ð¹, Ð½ÐµÐ¸Ñ□Ñ□Ñ□ÐºÐ°ÑŽÑ‰Ð¸Ð¹ Ð¸Ñ□Ñ‚Ð¾Ñ‡Ð½Ð¸Ðº
Ñ†Ð²Ðµ- Ñ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ñ… Ñ□Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ð¹, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ñ‹Ðµ Ð¿ÐµÑ€ÐµÐ´Ð°Ð
´ÑƒÑ‚ Ñ‡ÑƒÐ²Ñ□Ñ‚Ð²Ð¾ Ð¿Ð¾Ñ€Ñ□Ð´ÐºÐ° ÐºÐ°Ðº Ð²Ð¾ Ð²Ð½ÑƒÑ‚Ñ€ÐµÐ½Ð½ÐµÐ¼,
Ñ‚Ð°Ðº Ð¸ Ð²Ð¾ Ð²Ð½ÐµÑˆÐ½ÐµÐ¼ Ð¼Ð¸Ñ€Ð°Ñ…. Ð•Ñ□Ñ‚ÐµÑ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Â© Photopix/Photonica Ð’Ð°ÑˆÐµ Ñ□Ð¾Ð±Ñ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ð¾Ðµ
Ð½Ð°Ñ□Ñ‚Ñ€Ð¾ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð’Ñ‹Ð±Ð¸Ñ€Ð°ÐµÑ‚Ðµ Ð»Ð¸ Ð²Ñ‹ Ð¿Ñ€Ñ□Ð¶Ñƒ Ð´Ð»Ñ□
Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ Ñ□Ð²Ñ□Ð·Ð°Ñ‚ÑŒ Ñ□Ð²Ð¸Ñ‚ÐµÑ€, Ð¸Ð»Ð¸
Ð¿Ñ€Ð¾ÐµÐºÑ‚Ð¸Ñ€ÑƒÐµÑ‚Ðµ Ð½Ð¾Ð²ÑƒÑŽ Ð¿Ñ€Ð¾Ð¼Ñ‹ÑˆÐ»ÐµÐ½Ð½ÑƒÑŽ Ð¿Ñ€Ð¾Ð
´ÑƒÐºÑ†Ð¸ÑŽ, Ð¿Ñ€ÐµÐ´Ñ□Ñ‚Ð°Ð²ÑŒÑ‚Ðµ Ñ□ÐµÐ±Ðµ ÐºÐ¾Ð½ÐµÑ‡Ð½Ñ‹Ð¹
Ñ€ÐµÐ·ÑƒÐ»ÑŒÑ‚Ð°Ñ‚ Ð¸ Ð¸Ñ□Ð¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·ÑƒÐ¹Ñ‚Ðµ
Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ñ□Ð¾Ð¾Ñ‚Ð²ÐµÑ‚Ñ□Ñ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ð¾ ÐµÐ¼Ñƒ. Ð’Ñ‹ Ð¼Ð¾- Ð¶ÐµÑ‚Ðµ
Ð½Ð°Ñ‡Ð°Ñ‚ÑŒ Ð²Ñ‹Ð±Ð¾Ñ€ Ð¿Ñ€Ñ□Ð¶Ð¸ Ñ□ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾ Ð¾Ð¿Ñ€ÐµÐ
´ÐµÐ»Ð¸Ñ‚Ðµ Ñ„Ð¸Ð·Ð¸Ñ‡ÐµÑ□ÐºÐ¸Ðµ Ð¿Ð°Ñ€Ð°Ð¼ÐµÑ‚Ñ€Ñ‹ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, ÐºÑ‚Ð¾
Ð±ÑƒÐ´ÐµÑ‚ Ð½Ð¾Ñ□Ð¸Ñ‚ÑŒ Ñ□Ð²Ð¸Ñ‚ÐµÑ€, Ñ„Ð°ÐºÑ‚ÑƒÑ€Ñƒ Ð¸ Ð²ÐµÑ□ Ð¿Ñ€Ñ□Ð¶Ð¸
Ð¸Ð»Ð¸ Ð¿Ñ€Ð¾Ñ□Ñ‚Ð¾ Ð±ÑƒÐ´ÐµÑ‚Ðµ Ñ€ÑƒÐºÐ¾Ð²Ð¾Ð´Ñ□Ñ‚Ð²Ð¾Ð²Ð°Ñ‚ÑŒÑ□Ñ□
Ñ□Ð²Ð¾Ð¸Ð¼Ð¸ Ð»ÑŽÐ±Ð¸Ð¼Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°Ð¼Ð¸. Ð•Ñ□Ð»Ð¸ Ð²Ñ‹
Ñ€Ð°Ð·Ñ€Ð°Ð±Ð°Ñ‚Ñ‹Ð²Ð°ÐµÑ‚Ðµ Ð½Ð¾Ð²Ñ‹Ð¹ Ð¿Ñ€Ð¾Ð´ÑƒÐºÑ‚, Ð¿Ð¾

´ÑƒÐ¼Ð°Ð¹Ñ‚Ðµ Ð½Ð°Ð´ Ñ‚ÐµÐ¼, Ð³Ð´Ðµ Ð¸ ÐºÐ°Ðº Ð¾Ð½ Ð±ÑƒÐ
´ÐµÑ‚ Ð¸ÑÐ¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·Ð¾Ð²Ð°Ñ‚ÑŒÑÑ, Ð¿Ñ€ÐµÐ´ÑÑ‚Ð°Ð²ÑŒÑ‚Ðµ ÑÐµÐ±Ðµ
ÐºÐ¾Ð½ÐµÑ‡Ð½Ñ‹Ð¹ Ñ€ÐµÐ·ÑƒÐ»ÑŒÑ‚Ð°Ñ‚ Ð¸, Ð¸ÑÑ…Ð¾Ð´Ñ Ð¸Ð· ÑÑ‚Ð¾Ð³Ð¾,
Ð²Ñ‹Ð±Ð¸Ñ€Ð°Ð¹Ñ‚Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ð´Ð»Ñ Ð¾Ñ„Ð¾Ñ€Ð¼Ð»ÐµÐ½Ð¸Ñ. ÐžÐ±ÑÑ‚Ð°-
Ð½Ð¾Ð²ÐºÐ°, Ð² ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ð¾Ð¹ Ð²Ð°Ñˆ Ð¿Ñ€Ð¾Ð´ÑƒÐºÑ‚ Ð±ÑƒÐ
´ÐµÑ‚ Ð¸ÑÐ¿Ð¾Ð»ÑŒÐ·Ð¾Ð²Ð°Ñ‚ÑŒÑÑ, Ñ‡Ð°ÑÑ‚Ð¾ Ñ…Ð¾Ñ€Ð¾ÑˆÐµÐµ
Ð½Ð°Ñ‡Ð°Ð»Ð¾ Ð´Ð»Ñ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹ Ð´ÑƒÐ¼Ð°Ñ‚ÑŒ Ð½Ð°Ð´ Ñ‚ÐµÐ¼,
ÐºÐ°ÐºÐ¾Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚ Ð¿Ð¾Ð´Ð¾Ð¹Ð´ÐµÑ‚. Ð’Ð´Ð¾Ñ…Ð½Ð¾Ð²ÐµÐ½Ð¸Ðµ Ð²
Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ðµ Ð¢Ð°Ð±Ð»Ð¸Ñ†Ð° Ñ‚Ð¾Ð½Ð¾Ð²Ñ‹Ñ… Ð¿ÐµÑ€ÐµÑ…Ð¾Ð´Ð¾Ð²
Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° Ð¢Ð°Ð±Ð»Ð¸Ñ†Ð° Ñ‚Ð¾Ð½Ð¾Ð²Ñ‹Ñ…
Ð¿ÐµÑ€ÐµÑ…Ð¾Ð´Ð¾Ð² Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°
Ð•ÑÑ‚ÐµÑÑ‚Ð²ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ðµ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð° ÑÐ¾Ð·Ð´Ð°ÑŽÑ‚ Ð¼Ð¸Ñ€
Ð±ÐµÐ·Ð¼ÑÑ‚ÐµÐ¶Ð½Ð¾ÑÑ‚Ð¸ Ð¸ Ð¿Ð¾ÐºÐ¾Ñ. ÐÑ‚Ð¾
Ð·Ð°Ð¼ÐµÑ‡Ð°Ñ‚ÐµÐ»ÑŒÐ½Ð¾Ðµ Ð½Ð¾Ð²Ð¾Ðµ Ð¿Ð¾ÑÐ¾Ð±Ð¸Ðµ
Ñ€Ð°Ð·Ñ€Ð°Ð±Ð¾Ñ‚Ð°Ð½Ð¾ Ð´Ð»Ñ Ð´Ð¸Ð·Ð°Ð¹Ð½ÐµÑ€Ð¾Ð², Ñ…ÑƒÐ´Ð¾Ð¶Ð½Ð¸ÐºÐ¾Ð²,
Ð´Ð»Ñ Ð»ÑŽÐ±Ð¾Ð³Ð¾, ÐºÑ‚Ð¾ Ñ…Ð¾Ñ‡ÐµÑ‚ ÑÐ¾Ð·Ð´Ð°Ñ‚ÑŒ
Ð¸Ð½Ñ‚ÐµÑ€ÐµÑÐ½ÑƒÑŽ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²ÑƒÑŽ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñƒ Ð´Ð»Ñ ÑÐ²Ð¾ÐµÐ¹
Ð¸Ð´ÐµÐ¸. Ð’ ÐºÐ°Ð¶Ð´Ð¾Ð¹ Ð³Ð»Ð°Ð²Ðµ Ð¿Ñ€ÐµÐ´ÑÑ‚Ð°Ð²Ð»ÐµÐ½ Ð½Ð°Ð±Ð¾Ñ€
Ð¸Ð· Ð¾Ð±Ñ€Ð°Ð·Ñ†Ð¾Ð² ÑÐ¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ð¹ Ð¿Ñ€Ð¸Ñ€Ð¾Ð´Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð².
Ð¦Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ñ‹Ðµ Ð³Ð°Ð¼Ð¼Ñ‹ ÑƒÐ½Ð¸ÐºÐ°Ð»ÑŒÐ½Ñ‹ Ð¸ Ð¿ÐµÑ€ÐµÐ
´Ð°ÑŽÑ‚ Ñ€Ð°Ð·Ð½Ñ‹Ðµ Ð½Ð°ÑÑ‚Ñ€Ð¾ÐµÐ½Ð¸Ñ. Ð•ÑÐ»Ð¸ Ð²Ð°Ð¼ Ð½ÑƒÐ¶Ð½Ð¾
Ð²Ñ‹Ð·Ð²Ð°Ñ‚ÑŒ Ð°ÑÑÐ¾Ñ†Ð¸Ð°Ñ†Ð¸Ð¸ Ñ Ð”ÐµÑ€ÐµÐ²Ð½ÐµÐ¹,
ÐŸÐ°ÑÑ‚Ð¾Ñ€Ð°Ð»ÑŒÑŽ Ð¸Ð»Ð¸ Ð“Ð¾Ñ€Ð¾Ð´Ð¾Ð¼, ÑÑ‚Ð¾ Ñ‚Ð° ÑÐ°Ð¼Ð°Ñ
ÐºÐ½Ð¸Ð³Ð°, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ð°Ñ Ð²Ð´Ð¾Ñ…Ð½Ð¾Ð²Ð¸Ñ‚ Ð²Ð°Ñ Ð½Ð° ÑÐ¾Ð·Ð
´Ð°Ð½Ð¸Ðµ Ñ‚Ð°ÐºÐ¾Ð¹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð¹ Ð¿Ð°Ð»Ð¸Ñ‚Ñ€Ñ‹, ÐºÐ¾Ñ‚Ð¾Ñ€Ð°Ñ
Ð²Ð°Ð¼ Ð¿Ð¾Ð½Ñ€Ð°Ð²Ð¸Ñ‚ÑÑ. Ð‘Ð¾Ð»ÐµÐµ ÑÐ¾Ñ‡ÐµÑ‚Ð°Ð½Ð¸Ð¹ Ð½Ð°ÑÑ‹Ñ
‰ÐµÐ½Ð½Ñ‹Ñ… Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð². Ð¢Ð°Ð±Ð»Ð¸Ñ†Ñ‹ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²
ÑÐ¾Ð¾Ñ‚Ð½ÐµÑÐµÐ½Ñ‹ Ñ Ð¾ÑÐ½Ð¾Ð²Ð½Ñ‹Ð¼Ð¸ Ñ‚Ð¸Ð¿Ð°Ð¼Ð¸
Ð½Ð°ÑÑ‚Ñ€Ð¾ÐµÐ½Ð¸Ð¹. ÐžÐ½Ð¸ Ð±ÑƒÐ´ÑƒÑ‚ Ð¸Ð¼Ð¿ÑƒÐ»ÑŒÑÐ¾Ð¼ Ð´Ð»Ñ
Ð»ÑŽÐ±Ð¾Ð³Ð¾ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð¾Ð²Ð¾Ð³Ð¾ Ð¾Ñ„Ð¾Ñ€Ð¼Ð»ÐµÐ½Ð¸Ñ ÐºÐ°ÐºÐ¾Ð¹- Ð»Ð¸Ð±Ð¾
Ð¸Ð´ÐµÐ¸. ÐŸÑ€Ð¾Ð¸Ð·Ð²ÐµÐ´ÐµÐ½Ð¸Ñ Ñ‡ÐµÑ‚Ñ‹Ñ€ÐµÑ… Ð¼Ð°ÑÑ‚ÐµÑ€Ð¾Ð²-
Ñ„Ð¾Ñ‚Ð¾Ð³Ñ€Ð°Ñ„Ð¾Ð² Ð¸Ð»Ð»ÑŽÑÑ‚Ñ€Ð¸Ñ€ÑƒÑŽÑ‚ Ñ‚Ð¸Ð¿Ñ‹
Ð½Ð°ÑÑ‚Ñ€Ð¾ÐµÐ½Ð¸Ð¹ Ð¸ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ñ‹Ðµ Ñ‚Ð°Ð±Ð»Ð¸Ñ†Ñ‹. Ð¢Ð°Ð±Ð»Ð¸Ñ†Ð°
Ñ‚Ð¾Ð½Ð¾Ð²Ñ‹Ñ… Ð¿ÐµÑ€ÐµÑ…Ð¾Ð´Ð¾Ð² Ð´Ð»Ñ Ñ‚Ð¾Ð³Ð¾, Ñ‡Ñ‚Ð¾Ð±Ñ‹
Ð¾Ð±Ð»ÐµÐ³Ñ‡Ð¸Ñ‚ÑŒ Ð¸ ÑƒÑ‚Ð¾Ñ‡Ð½Ð¸Ñ‚ÑŒ Ð²Ñ‹Ð±Ð¾Ñ€ Ñ†Ð²ÐµÑ‚Ð°.